中国系统工程学会
上海交通大学　编

钱学森系统科学思想文库

论 系 统 工 程

（新世纪版）

钱学森　著

上海交通大学出版社

目　　录

A

B

致读者

系统工程与系统科学是当代世界上最有影响的一种综合性基础性学科，它的应用已经渗透到工业、农业、国防、科学技术等各个部门，从一个国家的国民经济规划到一个工厂的管理，从长期的科技战略的制订到短期的科研课题的实施，都无不用上系统工程与系统科学方法。在国内，应用系统科学和计算机技术研究人口问题及财政补贴、价格、工资综合平衡问题，取得了很好的效果；为了促进本地区经济发展，许多地区运用系统工程与系统科学方法构造出本地区经济、科技、社会协调发展模式并设计了相应的战略对策，也收到了明显的政治和经济效益，在当前经济体制改革的工作中，如何对企业和机关进行有效的管理，系统工程和系统科学方法是很能帮助我们一臂之力的。

现代科学技术的发展，不断增加着系统工程与系统科学的博大精深的内涵。例如，普利高津（I. Prigogine）的耗散结构理论、托姆（R. Thom）的突变论、哈肯（H. Haken）的协同学、与大系统和巨系统有关的微分动力体系理论、多维非线性动力体系中与有序化相反的“浑沌”理论等，实际上都可看作为系统科学的个别方向的情况。钱学森提出的系统科学的三个层次结构，对构筑系统科学这一宏大学科进行了清晰的刻画。

在我国，最早应用系统工程并取得显著成就的是航天系统。每一类型号都有一个总体部，实践证明它是非常有效的。钱学森认为总体设计部的实践，体现了一种科学方法，这种科学方法就是系统工程。

周恩来总理生前曾提出，把航天部总体部的经验推广到国民经济系统。为了帮助大家更好地学习、掌握和运用系统工程与系统科学方法，创立具有中国物色的系统科学体系，湖南科学技术出版社与湖南省系统工程学会商定，编辑出版“系统工程与系统科学丛书”。作为开篇，我们特出版钱学森等撰著的《论系统工程(增订本)》。今后，我们似将这一学科领域各界专家的理论研究和应用成果，陆续精选进这套丛书，希望引进广大读者的关注。

汪　浩

1988 年 3 月于长沙

增订版说明

湖南科学技术出版社在1982年曾出版钱学森等著的《论系统工程》，1987年以准备出《系统工程与系统科学丛书》。钱学森同志为了表示对《系统工程与系统科学丛书》的支持，接受了该社车平同志的建议，出版《论系统工程》增订本，列入该丛书。

增订本与1982年初版本比较，增加了25篇论文。其中，属于钱学森同志或他与别人合作的论文共12篇。属于宋健、于景元等同志的13篇论文，是遵照钱学森同志的意见新收入的。

许国志等在本书1982年版的前言中，概述了我们对钱学森系统科学思想内容的认识。5年之后，借本书增订版出版的机会，我要对那篇前言做一点补充。钱学森认为，处理复杂行为系统的定量方法学，是科学理论、经验和专家判断力的结合。这种定量方法学，是半经验半理论的。钱学森的这一见解曾经给我重要的启示。提出经验性假设（猜想或判断），是建立复杂行为系统数学模型的出发点。这些经验性假设（猜想或判断）不能用严谨科学方法证明，但既要经验性数据对其确实性进行检测。从经验性假设（猜想或判断）出发，通过定量方法学途径获得的结论，仍然具有半经验、半理论的属性。当人们寻求用定量方法学处理复杂行为系统时，容易注重于数学模型的逻辑处理，而忽视数学模型微妙的经验含义或解释。要知道，这样的数学模型，看来“理论性”很强，其实不够牵强附会，从而脱离真实。与其如此，反不如从建模一开始就老老实实承认理论不足，而求援于经验判断，让定性的方法与定量的方法结合起来，最后定量。这样的系统建模方法是建模者判断力的增强与扩充，是很重要的。就我比较熟悉的作战模拟研究来说，F. W. Lanchester和T. N. Dupuy等人的贡献，都建立在经验理论基础（empirical - the oretical foundation）之上，都是经验与科学相结合的产物。因此，我认为钱学森同志的系统科学思想是很有现实意义的。

王寿云

1988年3月于长沙

前　言

半个多世纪以来，在国际上系统作为一个研究对象引起了很多人的注意。在四十年代中，出现了“系统工程”（svstems Engineering）一词，这是对当时一些工程实践中卓有成效的新观点新方法的命名。这些工作绝大多数是电机工程师的创举。此外有一般系统理论，它渊源于理论生物学家贝塔朗菲。系统科学的早期工作多出于电子科学家和自动控制理论专家之手。当然还有在命名中并无“系统”二字，但实际与系统有密切关系的，如运筹学和管理科学等。波德在为大英百科全书撰写的“系统工程”条目中，一开篇就叙述了系统工程与运筹学的关系。系统吸引了众多领域的专家来从事一些新的研究。不同的人从不同的侧面了解到一些特点，从而选择了他们认为适合的名称，但忽视了这些侧面都通过接口而形成的一个总体。于是“人各一词，莫衷一是”，不妨举下列二例。1976 年美国科学院约请一些专家编写了一个报告，讲述几个颇具实效的实例。但最后对这个报告的命名却产生了一点麻烦，于是不得不宣称采取权宜之计，妥协命名为“运筹学/系统分析”。此外，英国曾出版“国际系统工程学报”，问世不久，为了避免读者甚至是投稿人对“工程”一词的过分狭义理解，改名为“国际系统分析学报”。这就是西方对于系统工程的梗概。

近几年来，在高等院校、研究机构和工业、农业、军事部门科学工作者的共同努力下，我国系统工程和系统科学的发展，已有了一个很好的局面，而且一年比一年好，逐步形成了一支确实具有中国特点的系统工程和系统科学研究队伍。钱学森同志就是这支队伍的一个成员。

早在 1954 年的英文版《工程控制论》第 18 章中，钱学森同志就讲到用重复不那么可靠的元件组成高度可靠的系统问题。这大大超出了当时自动控制理论的一般研究对象了，实质上是系统学的问题。1955 年钱学森同志在和我们中的许国志同志讨论问题的时，表示了把运筹学和社会主义计划经济结合起来的想法。钱学森同志比较深刻地理解系统工程、运筹学、控制论的关系，理解系统工程永远牵涉到人的因素，他也远于许多人更早地接触系统学的研究领域，因而钱学森同志在探讨系统工程时，处于更有利的位置。当然，他努力学习马克思列宁和毛泽

东思想，并用马克思主义哲学来指导科研工作，也探讨如何用科学技术的新成果去丰富、深化马克思主义哲学。所以他在吸取国外现代科学技术知识之后，能甩掉脚手架，站得比有些人高一点。

钱学森同志的系统科学思想，首先表现在他提出了一个清晰的现代科学技术的体系结构，认为从应用实践到基础理论，现代科学技术可以分为四个层次：首先是工程技术这一层次，然后是直接为工程技术作理论基础的技术科学这一层次，再就是基础科学这一层次，最后通过进一步综合、提炼达到最高概括的马克思主义哲学。整个科学技术包括自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学和人体科学这六个大部门。钱学森同志的系统科学思想也体现在他提出了一个清晰的系统科学结构。作为现代科学技术六大部门之一的系统科学，是由系统工程这类工程技术，系统工程的理论方法像运筹学、控制论和信息论这类技术科学，以及系统的基础理论系统学等组成的一个新兴科学技术部门。钱学森同志的系统科学思想还表现在，系统工程是组织管理的技术，也就是把传统的组织管理工作看成科学技术，并使之定量数值化，以便运用数学方法；系统工程是一大类工程技术的总称而不是一个单一的学科，正如我们传统理解的工程是土木、机械、电机等等工程的总称一样。于是便将“人各一词，莫衷一是”的情况澄清为“分门别类，共居一体”。这就给系统工程一个确切的描绘，并进而就整个系统科学体系，论述了系统工程在其中所处的地位。

人类认识现实世界的过程，是一个不断深化的过程，在真理的长河中，逐步前进。在古代，既少理论根据，又缺乏观测和实验手段，所以对许多事物，往往只能睹其外貌。犹如虽身处林海边缘，却只能望见一片“郁郁葱葱”。然而看到的却是林而不是树。随着科学技术的进展，道路通了，工具有了，可以深入林海，遗憾的是不知不觉地又只见树而不见林。认识是不断深化的，在对个体有了更多更好的了解以后，再回过头来，看到的就不仅是“郁郁葱葱”，而是“树密、根深、技繁、叶茂”。许多文献中，在谈到系统工程之所以在本世纪中叶得到发展，往往归功于一些现代巨大研制项目的推动，这无疑是正确的。但是，钱学森同志却从上面谈到的这样一个认识过程吸取了营养来发展系统科学。贝塔朗菲认为生命科学的本质是“有机总体”，因而他主张，生物学的研究，不能单凭分析方法，更重要的是要从系统的角度出发，加以探讨。然而贝塔朗菲的早期工作，虚多实少。只有在普里高津、哈肯、艾肯等人手中，用了更多、更深的物理、化学、数学的方法，方才取得了真正的进展。例如，钱学森同志认为，艾肯把生命起源、生物进化的达尔文学说，在分子生物学的水平上，通过巨系统高阶环理论，数学化了，提出了一个言之成理的自组织系统模型，并从这个模型推导出生物的一些生殖、

遗传、变异、进化的性状。这就使得贝塔朗菲40多年前提出的问题有了解决的明确途径。钱学森同志吸取现代自然科学的研究成果，但绝不停留在这些已有的成果上面。他把这些成果作为建立系统科学的基础科学，一切系统的一般理论——“系统学”一—的素材。他说：“我认为把运筹学、控制论和信息论同贝塔朗菲、普里高津、哈肯、弗洛里希、艾肯等人的工作融会贯通，加以整理，就可以写出《系统学》这本书。”他还说：“我看，‘耗散结构理论’‘协同学’……都是过往云烟，留下的将是系统学。当然创造耗散结构理论和协同学的普里高津和哈肯是大有功劳的。

在收入本书的钱学森同志的20篇论文中， 我们是其中少数几篇论文的合作者。并在不同的情况下，对他的这一篇论文或那一篇论文的研讨和写作过程有所理解，或是阅读过初稿，或是参与过讨论，或是比较早地听过他的讲演。这为我们了解钱学森同志的系统科学思想提供了较好的机会、我们早有把钱学森同志的系统工程和系统科学论文编辑成册的想法，但迟迟未能实现。湖南省系统工程学会成立前后，长沙国防科技大学系统工程与应用数学系汪浩副主任与柳克俊副主任对这个想法深表热心，在几次晤谈中，多次敦促；湖南省系统工程学会秘书长汤国熙同志多方协助，我们在此一并致谢。

我们特别对湖南科学技术出版社表示衷心感谢。由于他们的大力支持、高效率的工作，这本论著得以尽早出版。他们的工作精神和作风，也值得我们学习。

许国志 王寿云 柴本良

1982年6月于北京

组织管理的技术—系统工程

钱学森　许国志　王寿云

要完成新时期的总任务，在本世纪末实现农业现代化、工业现代化、国防现代化和科学技术现代化，把我国建设成为社会主义的强国，必须大大地提高我国科学技术水平，这是大家所认识了的。中央领导同志多次指出，我们现在不但科学技术水平低，而且组织管理水平也低，后者也影响前者。要解决组织管理水平低的问题，首先要认识这个问题，要认识这个问题的严重性。只有充分认识我们的管理水平低、管理工作存在着混乱的情况，我们才能够切实地总结经验教训，不但学习和掌握先进的科学技术，而且要学习和掌握合乎科学的先进的组织管理方法。否则，我们就会继续浪费时间、人力和资金，就不能完成我们在本世纪内要完成的宏伟任务。

有了认识只是第一步，还要做两方面的工作：第一个方面是要改革目前我国上层建筑中同生产力发展不相适应的部分，特别要大破小生产的经营思想，按照经济发展的客观规律改革组织管理。我国虽然早已是社会主义国家了，但意识落后于存在，小生产的经营思想还根深蒂固，我们不懂得用大生产的经济规律去组织生产，这就妨碍了生产力的发展。所以提高组织管理水平必须在上层建筑进行必要的改革。

第二个方面是要使用一套组织管理的科学方法。我国在科学的组织管理工作中的先行者是华罗庚教授，他在60年代初期就对“统筹方法”进行了系统的研究，并在大庆油田、黑龙江省林业战线、山西省大同市口泉车站。太原铁路局、太钢，以及一些省市公社和大队的农业生产中，推广应用，取得良好效果，得到毛主席和周总理的赞许和鼓励。我们在本文想就这第二个方面，讲点意见，也就是从总结组织管理的经验，讲讲建立起比较严密的组织管理科学技术体系，以及培养组织管理的科学人才，以此引起大家进一步的讨论，从一个侧面帮助管理水平的提高。[1]

一

现在我们来讲一讲组织管理工作的历史发展情况。先从工程技术方面说起。在历史上，例如作为个体劳动者的一个泥瓦匠，他要造房子，首先要弄到材料，选定一个可行的方案，然后进行建设。他要建造一间什么样的房子，在他动手建造之前，房子的形象已经存在于他的头脑之中。他按照一定的目的来协调他的活动方式和方法，并且随着不断出现的新的情况来修改原来的计划。在整个劳动过程中，他既构想这所房屋的“总体”结构，又从每一个局部来实现房屋的建造；他是管理者也是劳动者，两者是合一的。后来生产进一步发展了，在手工业工场里，出现了以分工为基础的协作。马克思说：“许多人在同一生产过程中，或在不同的但互相联系的生产过程中，有计划地一起协同劳动，这种劳动形式叫做协作。”又说：“一切规模较大的直接社会劳动或共同劳动，都或多或少地需要指挥，以协调个人的活动，并执行生产总体的运动——不同于这一总体的独立器官的运动——所产生的各种一般职能。一个单独的提琴手是自己指挥自己，一个乐队就需要一个乐队指挥。”（《马克思恩格斯全集》第二十三卷第 363、367 页）这是说有了职能的分工，在一切规模较大的工程技术中，都有“总体”，都有“协调”问题，都需要有个指挥来从总体运动的观点协调个人活动。在手工业工场里，这个指挥就是“监工”。后来生产进一步发展，在产业革命后出现的大工业的生产中，这个指挥就是“总工程师”。在制造一部复杂的机器设备时，如果它的一个一个局部构件彼此不协调，相互连不起来，那么，即使这些构件的设计和制造从局部看是很先进的，但这部机器的总体性能还是不合格的。因此必须有个“总设计师”来“抓总”，协调设计工作。

从 20 世纪以来，现代科学技术活动的规模有了很大的扩展，工程技术装置复杂程度不断提高。40 年代，美国研制原子弹的“曼哈顿计划”的参加者有 1.5 万人；60 年代，美国“阿波罗载人登月计划”的参加者是 42 万人。要指挥规模如此巨大的社会劳动，靠一个“总工程师”或“总设计师”是不可能的。50 年代末 60 年代初，我国为了独立自主、自力更生地发展国防尖端技术，开展了大规模科学技术研究工作，同样碰到了这个问题。总之，问题是怎样在最短时间内，以最少的人力、物力和投资，最有效地利用科学技术最新成就，来完成一项大型的科研、建设任务。

问题来了就促使我们变革。

我们把极其复杂的研制对象称为“系统”，即由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体，而且这个“系统”本身又是它所从属

的[2]一个更大系统的组成部分。例如，研制一种战略核导弹，就是研制由弹体、弹头、发动机、制导、遥测、外弹道测量和发射等分系统组成的一个复杂系统；它可能又是由核动力潜艇、战略轰炸机、战略核导弹构成的战略防御武器系统的组成部分。导弹的每一个分系统在更细致的基础上划分为若干装置，如弹头分系统是由引信装置、保险装置和热核装置等组成的；每一个装置还可更细致的分为若干电子和机械构件。在组织研制任务时，一直细分到由每一个技术人员承担的具体工作为止。导弹武器系统是现代最复杂的工程系统之一，要靠成千上万人的大力协同工作才能研制成功。研制这样一种复杂工程系统所面临的基本问题是：怎样把比较笼统的初始研制要求逐步地变为成千上万个研制任务参加者的具体工作，以及怎样把这些工作最终综合成一个技术上合理、经济上合算、研制周期短、能协调运转的实际系统，并使这个系统成为它所从属的更大系统的有效组成部分。这样复杂的总体协调任务不可能靠一个人来完成；因为他不可能精通整个系统所涉及的全部专业知识。他也不可能有足够的时间来完成数量惊人的技术协调工作。这就要求以一种组织、一个集体来代替先前的单个指挥者，对这种大规模社会劳动进行协调指挥。在我国国防尖端技术科研部门建立的这种组织就是“总体设计部”（或“总体设计所”）。

总体设计部由熟悉系统各方面专业知识的技术人员组成，并由知识面比较宽广的专家负责领导。总体设计部设计的是系统的“总体”，是系统的“总体方案”，是实现整个系统的“技术途径”。总体设计部一般不承担具体部件的设计，却是整个系统研制工作中必不可少的技术抓总单位。总体设计部把系统作为它所从属的更大系统的组成部分进行研制，对它的所有技术要求都首先从实现这个更大系统技术协调的观点来考虑；总体设计部把系统作为若干分系统有机结合成的整体来设计，对每个分系统的技术要求都首先从实现整个系统技术协调的观点来考虑；总体设计部对研制过程中分系统与分系统之间的矛盾、分系统与系统之间的矛盾，都首先从总体协调的需要来选择解决方案，然后留给分系统研制单位或总体设计部自身去实施。总体设计部的实践，体现了一种科学方法，这种科学方法就是“系统工程”（Systems Engineering）。“系统工程”是组织管理“系统”的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法，是一种对所有“系统”都具有普遍意义的科学方法。我国国防尖端技术的实践，已经证明了这一方法的科学性。

正如列宁说：管理的艺术并不是人们生来就有，而是从经验中得来的。系统工程来源于千百年来人们的生产实践，是点点滴滴经验的总结，是逐步形成的，在近年才上升为比较完整的一门科学技术。[3]

二

除了复杂的工程系统的组织管理技术的发展以外，还有另一个领域的发展，大企业的经营管理技术，这在国外也叫“经营科学”（management science），现在我们来讲讲这方面的发展情况。我们说：系统就是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体。这些组成部分称为分系统。虽然有意识地把工厂企业称作为一个系统，现在还不普遍，但使用“系统”这个词却很经常。例如我们常说某厂的财会系统（管钱的）或某厂的动力系统（管能源的）。就一个工厂而言，任何一个分系统，包括工厂本身这个整系统在内，都由下列六个要素组成。“人”当然是第一要素，其他五个要素分为物和事两类，物包括三个要素即：物资（能源、原料、半成品、成品等），设备（土木建筑、机电设备、工具仪表等）和财（工资、流动资金等）。事包括两个要素：任务指标（上级所下达的任务或与其他单位所订的合约）与信息（数据、图纸、报表、规章、决策等等）。从历史上一个个体劳动者泥瓦匠的工作开始，就包含这六个要素。那时人当然是有的，不过是个体；砖瓦木料便是物资；斧锯瓦刀是设备；钱当然是个因素；任务指标是明确的；至于信息可能全部都存放在泥瓦匠这个人的头脑中。在现代的大工厂中，还是这六种要素，只不过规模空前地扩大。在工厂这个整系统中，各分系统之间的相互作用和相互依赖的关系，就凭这六个要素的流通而得以体现。

经营管理作为一门科学萌芽于 20 世纪初。可能第一个发现就是今天称之为“工时定额”的这门学问。这是关于工序的；简单地说，就是研究在一定的设备和条件下，某一道工序的最合理的加工时间。第二个发明是线条图[1]，这是有关调度计划的，可以说是后面我们讲的“计划协调技术”（简称PERT）的先驱。再后来出现了质量控制，在这里质量不是一个个体部件的属性，而是一个统计概念，是一批同一种部件的属性。可以看到就在这时，数理统计或数学进入了经营管理的领域。这是一件大事，因为数学这个所谓科学的皇后被引进到工厂经营管理这样一种“简单”的事务中。但这些都是 1940 年以前的事，当时人们还没有有意识地认识到工厂是一个系统。最能说明这个问题的是工时定额与线条图。工序是线条图的组成部分，工序与工序之间本来存在着有机联系，但在线条图中没有得到明确的反映，因而线条图没有表达出系统这个概念。只是到了 50 年代，出现了计划协调技术，这种关系才以网络的形式得以表达。网络是某些系统的最形象、最简洁的表达形式，它的成功应用和得到普遍承认，便是系统重要性的一个证明。

1940 年以后，由于工程技术的发展，人们对于系统的一个重要属性——信息反馈，逐渐加深了认识。其实信息反馈这一现象早在蒸汽机的调速器中就出现。

[4]当负荷增加（减少）时，车速就相应地减慢（增快），调速器便因离心力的作用而增大（减小）进汽阀门。负荷的变化这一信息便反馈到进汽应如何增减这一决策中来，并从而自动地作出正确的决策。一个工厂由于鼓足干劲，在某一时期中提前完成了任务指标，为了今后能超额完成任务，这一信息应反馈到材料供应等决策之中，这是人所尽知的事实。也许可以说，在工厂中，任何一个决策都或多或少地牵涉到某一分系统的信息反馈。信息反馈失灵就会导致管理混乱。当然管理混乱还可能由于其他种种原因。

在一个工厂中，物流是有目共睹，并且受到极大的注意。物流的畅通与否，是管理人员极为关心的事。例如在一个钢铁联合企业中，原料进入高炉炼成铁水，一部分铸成铁块，一部分运往平炉车间炼成钢水，铸成钢锭后，一部分运往钢锭库，一部分运往初轧厂的均热工段，均热后进初轧机，然后再分别到各分厂轧制成钢材。在这个主要的物流中，伴随着许许多多的信息流。事实上，均热炉的温度控制就是一个典型的信息反馈。在泥瓦匠的工作中，信息几乎都是无形的，是存放在人的头脑中。随着生产规模的发展，头脑中房屋的形象变成了蓝图，铁匠师傅打铁时看火候的经验演化为均热工段的加热时间表，会计人员计算工资的方法成为计算机的一个程序。工厂的规模越大、越复杂，在这六个要素中，相对来说信息这一要素的增长就越大。生产越自动化，对信息传递的速度和准确度要求就越高。物流的畅通与否在很大程度上依赖信息处理的好坏（包括信息加工、传输、存储、检索，以及各式各样大大小小的决策），因此信息这一因素日益受到重视，成为经营管理科学研究的中心课题之一。目前在我国的许多企业中，连最狭义的信息传递还处于相当落后的状态，要使我国工厂生产管理达到高水平也就不可能了。

人、物资、设备、财、任务和信息这六个要素，都要满足一定的制约。进行经营管理首先要认识这种制约，并从而能动地求得在制约下的系统的最优运转。制约分为两大类，一是经济规律的制约，一是技术条件的制约。如在计划协调技术中，物流必须满足技术条件所制约的加工先后顺序。认识这种制约才能画出网络并从而求得主要矛盾线。主要矛盾线所表达的完工时间又可能成为更大系统中某一工序的最优加工工时。在制约下求得总体最优是企业经营管理的一个重要概念。

通过六个要素，把一个复杂的生产体系组织管理好，需要科学，而这门科学也只是千百年来人们生产实践经验的总结，到20世纪初才有了一些具体结果；40年代之后终于成了一门比较成形的科学，即所谓经营科学。[5]

三

在国外常常把复杂工程系统的工程工作和大企业组织的经营管理工作并为一门科学系统，叫做“运筹学”（operations research）。其实这些概念都是近 30 多年来实践中发展起来的，当时认识不够深刻，用词也不一定妥当，现在该是总结明确的时候了。

不论复杂的工程还是大企业，以至国家的部门，都可以作为一个体系；组织建立这个体系，经营运转这个体系是一项工程实践，就如水利枢纽，电力网，或钢铁联合企业的建设那样，是工程技术。所以应该统统看成是系统工程。当然，也正如我们习惯讲的工程技术又各有专门，如水力工程、机械工程、土木工程、电力工程、电子工程、冶金工程、化学工程等等一样，系统工程也还是一个总类名称。因体系性质不同，还可以再分：如工程体系的系统工程（像复杂武器体系的系统工程）叫工程系统工程，生产企业或企业体系的系统工程叫经济系统工程。国家机关的行政办公叫行政系统工程，科学技术研究工作的组织管理叫科学研究系统工程，打仗的组织指挥叫军事系统工程，后勤工作的组织管理叫后勤系统工程等等。也还可以再以专门工作方面来分，如档案资料的组织管理叫资料库系统工程，控制产品质量的组织管理叫质量保障系统工程等。

系统工程的概念和方法还可以用于更广泛的实践。除了上面讲的比较大的系统之外，设计一项不大的设备也要考虑设备各部件的协调，所以也要用系统工程的概念，因此在现有高等院校的工科专业课中也讲一点系统工程。我们这里说的组织管理科学也是吸取了这些实践经验而发展扩大的。其实再小一点的事也用得上系统工程的思想，如治病，要人、病、证三结合以人为主统筹考虑。这就是说要把人体作为一个复杂的体系，还要把人和环境作为一个复杂体系来考虑。

说到这里，大家也会感到系统工程的概念并不神秘，这是我们自有生产活动以来，已经干了几千年的事。在人类历史上，凡是人们成功地从事比较复杂的工程建设时，就已不自觉地运用了系统工程方法，而且这里面也自然孕育着理论。公元前 250 年，李冰父子带领四川劳动人民修筑的都江堰，由“鱼嘴”岷江分水工程、“飞沙堰”分洪排沙工程、“宝瓶口”引水工程这三项工程巧妙结合而成，即使按照今天系统工程的观点，这也是一项杰出的大型工程建设。当然人类的历史是一个由必然王国向自由王国不断发展的历史，社会劳动规模的日益扩大，使人们日渐自觉地认识到了系统工程方法的必要性和重要性，要求我们对统筹兼顾、全面规划、局部服从全局等等原则从朴素的自发的应用提高到科学的自觉的应用，把它们从日常的经验提高到反映组织管理工作客观规律的科学理论。所谓科学[6]

理论就是要把规律用数学的形式表达出来，最后要能上电子计算机去算。这科学理论是系统工程的基础，系统工程则是这门科学理论的具体运用。这门科学理论可以沿用一个已经建立的名词，还叫运筹学，但内容和范围更明确了，它是体系组织管理的实践所总结出来的、有普遍意义的科学理论；但有别于组织管理的具体科学实践——系统工程。从组织管理的实践到运筹学，再到系统工程的实践，完成了实践到理论，再用理论来指导实践的循环。打个比喻，一般常说的工程技术，其基础理论是基础科学，也就是数学、物理、化学、天文学、地学和生物学，尤其是数学、物理，那么各门系统工程的基础是运筹学，当然还有数学。这样，相当于处理物质运动的物理，运筹学也可以叫做“事理”。

当然“事理”同数学、物理都充满了辩证法的道理，都是以辩证唯物主义作指导的。这对于我们的同志来说，是比较容易懂得的；但是对于那些长时间以来受形而上学、片面性毒害的资本主义国家的工程、生产以及其他方面的人员来讲，就是最浅显的辨证法都成为从来未听说过的新鲜事，以至把统筹兼顾、协调各方面的矛盾作为好像是系统工程和其理论基础的运筹学所特有，大喊大叫，这当然是不妥当的。但是他们这些人，通过长时间的实践，终于懂得了一些朴素的辩证法，而且运用到实际工作中去了，这又是一件好事。

运筹学的具体内容包括线性规划论[2]，非线性规划论[3]，博弈论[4]，排队论[5]，搜索论[6]，库存论[7]，决策论[8]等等；而且还要根据实际需要进一步发展。这新领域还很多，例如可靠性论[9]。当然，作为“事理”，运筹学还是一门年青的科学，其整个发展也只才 30 多年，比不上物理学的几百年的历史。因此运筹学还很不成熟，很不系统。上面所举的运筹学各个分支也只能看作是将来“事理”这门科学的组成材料，还有大量的研究工作要做，使它更加系统、更加严密、更加完整。

系统工程的数学基础，除一般常常说到的数学基础之外，还有统计数学、概率论。控制论，包括大系统理论[10]，也是系统工程的基础。

我们相信用以上所说的概念来建立并发展系统工程、运筹学、数学理论以及其他有关科学这个科学体系，能解决所有组织管理的技术问题。所以我们要搞的系统工程不仅仅是“一门”组织管理的技术，而是各门组织管理的技术的总称。它现在还不完善，但可以逐步完善。

四

系统工程不仅需要科学理论工具，而且需要强有力的运算手段——电子数字计算机。

对于具有复杂关系的系统工程问题，在使用运筹学方法确定对系统的要求、

[7]系统的总指标、系统的总体方案以及系统的使用方法时，都需要用电子数字计算机。例如，为了在实际系统研制成功以前拟定与验证系统的总体方案，估计系统各组成部分之间的相互适应性，考察系统在实际的或模拟的外部因素作用下的响应，按照系统工程的方法，总是把与系统有关的数量关系归纳成为反映系统机制和性能的数学方程组，即数学模型，然后在约束条件下求解这个数学方程组，找出答案。这个过程就叫系统的数学模拟，它是用电子数字计算机来实现的。

电子数字计算机还是实施系统工程计划协调的重要工具。1958 年美国在北极星导弹研制的计划管理中，首次采用了计划协调技术，把电子计算机用于计划工作，获得显著成功，加快了整个系统的研制进度。1963 年，我国在国防尖端技术科研工作中，进行了类似的试验，为在我国大型系统工程的计划工作中推广应用电子数字计算机作了开创性的尝试。

对于不太复杂的研制任务，采用计划协调技术所需要的算术运算工作量还是人工所能胜任的。但是，对于复杂的研制任务，计算工作量就成为十分突出的问题。由各分系统组成的整个系统包括成千上万项工作任务，处理这种大规模的网络计划就需要电子数字计算机。在系统工程的计划工作中，采用电子计算机的几点好处：一是电子计算机能形成一个高效的数据库，它可以按照计划部门和领导者的需要，把任何一项工作的历史情况和最新进度显示出来；二是通过电子计算机对经常变动的计划进展情况进行快速处理，计划管理人员能够及时掌握整个计划的全面动态，及时发现“短线”和窝工，采取调度措施改变这种状况；三是电子计算机能在短时间内对可能采取的几个调度措施的效果进行计算比较，帮助计划部门确定最合适的调度方案。

因此我们可以说系统工程的建立是由于现代大规模工农业生产和复杂科学技术体系的需要，而系统工程实践的广泛发展，是由于电子计算机的出现。没有大型电子计算机和各种中、小型电子计算机的配合，尽管有高超的运筹科学理论，系统工程还是无法发展的。这就又一次说明电子计算机的划时代意义，又一次证明电子计算机是一项毛主席所说的技术革命。随着系统工程实践规模的扩展，我们将需要运算能力更大的计算机或计算机体系。我们不会满足于运算速度为每秒 100 万次的机器，我们还要制造每秒运算 1 亿次以及 100 亿次的机器。

五

讲完了系统工程的内容和其理论基础及有关的学科，就可以来考虑培养新时期组织管理的专门人才。我国现在已经有不少高等院校开始了这方面的教学，这是很可喜的现象。我们在这里要说的是专门的高等院校，也就是怎样办组织管理

[8]方面的专门高等院校。

先从专业的设置说起。系统工程的各个分支就是各门专业，如工程系统工程专业、经济系统工程专业、行政系统工程专业、科研系统工程专业、军事系统工程专业、后勤系统工程专业、资料库系统工程专业以及质量保障系统工程专业等。这也如同一般工程技术有许多门专业一样。

为了打好专业学习的基础，学生要在进入专业学习之前先学专业基础课，如运筹学、电子计算机技术。这两大门课教起来要分几部分来上，因为内容比较多。其它专业基础课可能有控制论、政治经济学、有关高等数学，如算法论[11]等。

学生刚入大学的一年至两年自然要学基础课以及外语和政治课。基础课还是数学、物理和化学，可能内容和比重和一般工程技术的大学有所不同，要作些调整和更动。当然学生在校学习期间都要有适当的体育锻炼和生产劳动。

配合课堂上课，还要有实验室实践和结合专业的实习，包括电子计算机的使用。因为搞系统工程离不开电子计算机，不会用电子计算机的系统工程的毕业生是不可想象的。

以上说的是组织管理学院（或大学）的“工科”，即系统工程课程设计的概要。为了培养更多的组织管理学院或大学的教学人员，为了培养更多组织管理科学的研究人员，这种学院或大学还要设“理科”。“理科”专业就是前面所讲“工科”专业基础课的各门科学；如可以称作为“事理”的运筹学以及运筹学的几门分支学科，以及计算数学等。这些“理科”专业的基础课和“工科”的基础课大致相同。至于“理科”各专业的专业基础课自然不同于“工科”的各专业基础课，要另行设计了。当然在这里的课程设计是一个很初步的设想，许多具体细节还要进一步研究，还有许多问题也只能在教学的实践中去解决。我们在前面讲到运筹学本身也有待于系统化，而经过整理，很可能出现一门作为运筹学基础的“事理通论”，它就应该作为一门与数、理、化并列的基础课来教了。

我们设想了这样一种组织管理科学技术的大学，有“工”有“理”，与现行的一般工程科学技术的理工科大学平行的、另一种新的“理工科”高等院校。它的工科是培养从事应用工作的系统工程师；它的理科是培养从事基础理论研究工作的组织管理科学家。不论理科还是工科都要搞研究工作以不断提高教学质量。我们的组织管理高等院校不但要吸收和培养大批高考合格的知识青年，而且要开办进修班，吸收和培养我国现有的、数量众多而又有一定经验的组织管理干部，用现代化的组织管理科学技术武装他们，更好地发挥他们的才能。吸收组织管理干部进修还可以把他们的实践经验带到院校中来，丰富教学内容和促进组织管理的科学研究。我们不能只办一所这样的高等院校，也不是办几所，而是要办几十所，

以至上百所这种新型理工结合的学院和大学。因为我们知道，我们需要的组织管理科[9]学家和系统工程师，其数量和质量都决不会少于或次于自然科学家和一般工程技术的工程师。

此外，在工科院校也应恢复以前就有的工业企业管理课，使学习各传统工科技术的学生知道一些生产组织管理的知识，便于他们将来同组织管理专业人员合作共事。同样道理，也要考虑在传统理科院校开设组织管理课，使搞自然科学研究的科技人员能更好地同搞科学研究系统工程的人员协同工作。

我们这样干是一种创新。这也使我们想起 100 多年前的事：19 世纪下半叶，当时工业生产后进的美国为了追上先进的西欧资本主义国家，创办了理工科结合的科学技术高等院校，第一所这样的大学可以说是 1861 年建立的麻省理工学院。在 20 世纪 20 年代初美国为了同一目的又创办了着重培养研究人才的加州理工学院。这些突破传统的院校为美国培养厂高质量的科学技术人才，使美国科学技术在 20 世纪中叶达到了世界先进水平。今天为了适应我国实现四个现代化的需要，在我国创办理工科结合的、培养组织管理科学技术人才的新型高等院校，并在其他高等院校设置这方面的课程，那我们一定能后来居上，使我国组织管理很快地达到世界最先进的水平！

原载 1978 年 9 月 27 日《文汇报》第 1、第 4 版

注　　释

[1] 线条图是在计划协调技术出现之前习用的计划编制方法。按照这个方法，横坐标表示时间，用一个一个线条表示一系列任务，线条的起始端对应于任务的开始时间，线条的终止端对应于任务的完成时间，线条长短表示计划进度的长短。线条图有助于表示长期计划，却缺乏表达各项工作之间依赖关系的能力。把线条分割为更细致的事件，再用箭头把它们的依赖关系表现出来，就成为计划协调技术的网络图的萌芽。

[2] 线性规划（linear programming）

经营管理工作中，往往碰到如何恰当地运转由人员、设备、材料、资金、时间等因素构成的体系，以便最有效地实现预定工作任务的问题。这一类统筹规划问题用数学语言表达出来，就是在一组约束条件下寻求一个函数（称为目标函数）的极值的问题。如果约束条件表示为线性等式及线性不等式，目标函数表示为线性函数时，就叫线性规划问题。线性规划就是求解这类问题的数学理论和方法。线性规划在财贸计划管理、交通运输管理、工程建设、生产计划安排等方面得到应用。

[3] 非线性规划（non - linear programming）

如果在所要考虑的数学规划问题中，约束条件或目标函数不全是线性的，就叫非线性规划问题。非线性规划就是求解这类问题的数学理论和方法。工程设计、运筹学、过程控制、

经济学等以及其它数学领域的许多定量问题，都可以表示为非线性规划问题。[10]

[4] 博弈论（game theory）

是一种数学方法，用来研究对抗性的竞争局势的数学模型，探索最优的对抗策略。在这种竞争局势中，参与对抗的各方都有一定的策略可供选择，并且各方具有相互矛盾的利益。若仅有两方参与，则称为二人对策，若一人之所得即为对方之所失，则称为二人零和对策。二人零和对策和线性规划有密切关系。

[5] 排队论（queueing theory）

是一种用来研究这样的公用服务系统工作过程的数学理论和方法，在这个系统中服务对象何时到达以及其占用系统的时间的长短均无从预先确知。这是一种随机聚散现象。它通过对每个个别的随机服务现象的统计研究，找出反映这些随机现象平均特性的规律，从而改进服务系统的工作能力。

[6] 搜索论（search theory）

是一种数学方法，用来研究在寻找某种对象（如石油、矿物、潜水艇等）的过程中，如何合理的使用搜索手段（如用于搜索的人力、物力、资金和时间），以便取得最好的搜索效果。

[7] 库存论（inventory theory）

经营管理工作中，为了促进系统的有效运转，往往需要对元件、器材、设备、资金以及其它物资保障条件，保持必要的储备。库存论就是研究在什么时间、以什么数量、从什么供应源来补充这些储备，使得保存库存、和补充采购的总费用最少。

[8] 决策论（decision theory）

决策论是运筹学最新发展的一个重要分支，用在经营管理工作中对系统的状态信息、根据这些信息可能选取的策略以及采取这些策略对系统的状态所产生的后果进行综合研究，以便按照某种衡量准则选择一个最优策略。决策论的数学工具有动态规划、马尔科夫过程等。

[9] 可靠性理论（reliability theory）

在给定的时间区间和规定的运用条件下，一个装置有效地执行其任务的概率，称为装置的可靠性。可靠性理论就是研究可靠性的数学方法，是应用数学的一个重要分支。如何将可靠性较低的元件组成可靠性较高的系统，是可靠性理论的重要课题之一。

[10] 大系统理论（theory of large scale system）

现代控制理论新近发展的一个重要研究领域，研究的对象是规模庞大、结构复杂的各种工程的或非工程的大系统的自动化问题。诸如综合自动化的钢铁联合企业、全国或大区的铁路自动调度系统、区域电力网的自动调节系统、大规模情报自动检索系统、经济管理系统、环境保护系统等等，就是这样的大系统。

[11] 算法论（algorithm theory）

一个计算过程，就是从可变的初始材料导出所求的结果的过程。在数学中通常把确定这种过程的准确指令理解为算法。算法论的中心课题之一就是“什么问题可以算法求解？”从而就有所谓可计算性理论。近年来由于组合性问题逐步受到重视，许多这样的组合问题来源于运筹学，于是发现所有存在有算法的问题可分为两类：一类是目前仅仅存在这样一种算法，它的计算时间随着问题规模的增大至少呈指数关系增长，计算机工作者把[11]这类算法称为非可行的算法；另一类是存在这样算法，它的计算时间只随问题规模的增大呈多项式关系增长，计算机工作者把这类算法称为可行算法。非常有趣的是，在上述第一类问

题中，有许多问题至今只找到非可行算法，没有找到可行算法，而又未能证明不存在这种可行性算法。这样就又有所谓计算复杂性问题。运筹学中的最佳化问题是计算复杂研究的一个重要对象。[12]

组织管理社会主义建设的技术——社会工程

钱学森　乌家培

加快实现四个现代化，这是一场根本改变我国经济和技术落后面貌的伟大革命。为此，我们思想上要做好准备，要扫除我们头脑中的障碍，而且要行动起来，首先要从多方面改善生产关系，改善上层建筑，使之适应生产力的发展。与此同时，我们也必须研究具体组织管理社会主义建设的科学技术，以大大提高组织管理国家建设的水平。

在去年 9 月 27 日文汇报发表了《组织管理的技术——系统工程》（以下简称《系统工程》）一文后，我们以为该文所说的还是一个工厂、一个企业、一个机构、一个单位、一个科学技术工程、一所科研单位以及一个部队的事，是“小范围”“小系统”的系统工程，而这些小系统还受国家这个大系统的制约，大系统的组织管理没搞好，只讲小系统的系统工程，也达不到真正的好、快、省。为了探讨国家范围的组织管理技术问题，我们在此文中写点初步意见，供大家讨论，以促使这个问题的解决。

一

让我们先考虑这个问题的背景，看看有无建立国家范围组织管理技术的迫切需要和现实可能。

第一是现代科学技术的作用。我们经常说，要实现四个现代化，科学技术水平的迅速提高是关键。这是因为现代科学技术已经成为直接的生产力，它能把人的劳动生产率提高到前所未有、前所不敢设想的水平。而这都是有科学依据的，不是什么幻想，因而是一定能实现的。近来我们报刊上刊登了不少国外科技人员预见今后几十年，到了 21 世纪的社会情况，都是以科学技术在今天已经做到或能够做到的为基础的，并不是以科学技术现在还不知道的东西为基础的，所以那些文章中所描述的一切，不是能不能实现的问题，而是根据社会和国家的建设目标，要不要实现的问题。如果我们制订计划要实现，并努力去做，就一定能实现。因此，这是科学的预见，而不是胡思乱猜。[13]

再就是这种可能的发展比之于我们今天已经做到的，在广大人民生活中已经实现的，差得远不远？如果不太远，那么所引起的社会变革也可能不太大。但我们知道不是如此。例如，世界上农业生产水平先进的美国，1976 年从事农业生产的劳动力只占总人口 1.2%，而我国将近 40%，相差 30 多倍。其他方面也有类似情况。这就是说在几十年内，科学技术可能带来的社会变革将比我国过去千百年的变化还大。毛主席讲的技术革命也就是历史上重大技术改革，在 18 世纪是蒸汽机，在 19 世纪是电力，但在 20 世纪，决不止原子能这一项。方毅副总理在全国科学大会上指出的重大新兴技术领域和带头学科是农业科学技术、能源科学技术、材料科学技术、电子计算机科学技术、激光科学技术、空间科学技术、高能物理和遗传工程。就这八项来看，除了核能技术革命以外，还孕育着计算机技术革命、激光技术革命、航天技术革命和遗传技术革命。面临这样多而又重大的变革，在我们社会主义国家不搞好长远规划怎么行呢？搞不好规划和计划协调对国家和人民所造成的损失将是灾难性的。

在前面说到要明确一个国家的目标。这在我们社会主义国家是完全能解决的。我们的社会制度就是在广泛民主的基础上进行全国的集中统一的。不但如此，我们还有人类最先进的关于社会和国家的理论，即马克思列宁主义、毛泽东思想。这就大不同于资本主义国家。在那里，第一，不能形成统一的国家目标，最多只有资本集团策划的短暂交易；第二，由于他们不可能懂得长期人类社会发展的规律，他们对社会活动的规律只能做到表面的、唯象的分析，而无法作深入本质的分析，达到客观的正确的结论。所以资本家们只会、也只能为他们自己的明天作些打算，不愿、也不能为他们的社会和国家提出真正好的主意。只有我们才有长远规划的理论基础，才能真正搞社会和国家规模的长远规划并付诸实施。

有了长远规划的必要和理论基础，能不能真正去做呢？这个问题在《系统工程》一文已有线索可寻．答案是肯定的。我们有运筹学、控制论和电子计算机这些工具，又有各个领域系统工程的实践，就为解决更大的任务，组织管理社会主义建设，制订社会和国家规模的长远规划以及社会和国家规模的协调、平衡，创造了条件。需要的只是进一步发展这些工具。

不但如此，我们的兄弟社会主义国家如罗马尼亚和南斯拉夫已经在这方面进行了一些工作，而且已经取得成效，我们可以向他们学习，吸取他们的先进经验。

再有就是，多年来资本主义国家也做了一些有关的工作，我们可以去粗取精、去伪存真、利用其一部分合乎科学的东西。例如，他们对未来学和未来研究[1]的工作就值得注意，其中一些素材是可用的。再如他们有些人对科学学进行了研究，即把现代科学技术作为一个方面的社会活动来研究，寻找它的规律，组织方法等。

由于科学技术对现代社会的重要性，科学学也可为我所用。此外，一些有关[14]研究单位，如国际应用系统分析研究所（IIASA[2]）等，他们的工作也值得参考。

二

搞组织管理社会主义建设的前提是社会和国家的目标，也就是建设社会主义的要求，这是党和国家所规定的一个历史时期的方针和任务，是出党的代表大会和全国人民代表大会及其常设机关决定的。有了目标，还得有更具体的政策、组织原则和法规。这也是由党和国家领导机构集中广大群众的意见来决定的。在这个基础上，我们来考虑组织管理社会主义建设，掌握并运用社会科学、特别是经济学的规律和自然科学技术，一是设计出一个好、快、省的全国长远规划，提供给党和国家领导审查；二是在执行中不断地根据实现情况，在不断出现的不平衡中，积极组织新的相对的平衡；三是总结实践经验，向党和国家领导提出改善生产关系和上层建筑的建议，四是根据计划执行情况和政治以及科学技术的新发展，提出调整计划的意见。这就是我们的任务。

我们可以把完成上述组织管理社会主义建设的技术叫做社会工程。[3]它是系统工程范畴的技术，但是范围和复杂程度是一般系统工程所没有的。这不只是大系统，而是“巨系统”是包括整个社会的系统。

总的来说，社会工程是从系统工程发展起来的，所以在《系统工程》一文中讲的内容和工具以及理论基础也都对社会工程适用。但社会工程的对象既然是整个社会、整个国家，社会科学对社会工程就更加重要，更要依靠政治经济学、部门经济学、专门经济学和技术经济学。社会工程工作者也要很好掌握现代科学发展的规律，促使其高速度发展来创造强大的推动力。

社会工程的一个重要工具是情报，没有准确及时的情报，包括社会生产、人民生活、生产技术和科学发展等各方面，那就没有进行社会工程工作的依据。在现行统计、会计、业务核算的基础上，建立这样一个情报网和情报资料数据库，即一个自动化、计算机化的网和库，是一项工程浩大的项目，而且还要联系到国家和国际通信网的建设。

搞社会工程还需要大大发展它的工具理论，即运筹学和控制论，把它们向巨系统方向推进。巨系统的特点有两个：一是系统的组成是分层次、分区域的，即在一个小局部可以直接制约、协调；在此基础上再到几个小局部形成的上一层相互制约、协调；再在上还有更大的层次组织。这叫做多级结构。另一个特点是系统大了，作用就不可能是瞬时一次的，而要分成多阶段来考虑。因此在长远规划中只用一般规划理论就不行了。要发展动态规划。现在无论在运筹学还是在控制

论这两方面的工作都很不够，还有很多研究工作要做。当然为了社会工程的需[15]要，也要相应地解决有关的数学理论问题。

社会工程还需要运算能力很大的计算机。除了巨型汁算机站外，还要利用国家的电予计算机网。

三

比起旧中国，我们应该说建国以来的 29 年建设，成绩很大。但是，我们的经济还没有做到持久地高速度地发展。特别是由于林彪、“四人帮”的严重干扰破坏，国民经济长期停滞不前，加上我们底子差，按劳动生产率和人口平均收入计算，我国至今仍然是世界上贫穷落后的国家之一。从这样一个出发点，我们设想用大约 30 年时间，到了 21 世纪初，要建成一个什么样的、较高程度的现代化的社会主义强国呢？那时我国人口大约是 10 亿多，因此就业人数将从现在的近 4 亿增加到 5 亿，但是 5 亿就业人数之中的内在分配却要起一个非常大的变化。按世界先进水平来估计，将来直接从事物质生产的劳动力只会占就业人数的 1/4，即 1.25 亿。可是由于生产的高度机械化和自动化，劳动生产率却比现在高得多。如果平均劳动生产率是每人每年 16 万元（人民币），那么工农业总产值就将是 20 万亿元；如果平均劳动生产率是每人每年 20 万元，工农业总产值就将是 25 万亿元。这比起现在是几十倍的增长。按 10 亿人口计，工农业产值每人平均将分别达到 2 万元和 2.5 万元。我们将不再是贫穷落后的国家了。

5 亿就业人数中才四分之一直接搞生产，那四分之三干什么？这可以从几个方面来看。首先要考虑在这样现代化的国家就业没有高度的科学文化水平是不能胜任的；工人也得有大学文化水平。所以大学教育得全国普及。5 亿就业人口要求每年补充大学和其他高等院校毕业生约 1 250 万人。这就要求全国要办大约 1 万所大学和高等院梭，每个县至少有一所高等院校。全国大学和高等院校的救职员工就将达 1 千万人以上。加上中学、小学以及幼儿园的教职员工，全部教育工作者将在 5 千万人以上。

其次，我们应该看到我国在 21 世纪的社会不可能再因循千百年来一家一户的生活方式，生活也要集体化、社会化。为 10 亿人口的生活服务，管好吃饭、穿衣、住房、行路、医疗卫生以及水、电、邮递等公用事业，大概也得 1 亿人。

以上三个方面合计共 2.75 亿，5 亿就业人数还余下 2.25 亿，这就是自然科学技术和社会科学研究人员以及组织管理和国家机构的人员，这三类要占去 2.25 亿中的绝大部分。余下的 2、3 千万是文化、文艺工作者。

这不是一个非常大的变化吗？

我国社会工程的工作者面临的长远规划任务就是以党和国家规定的方针政[16]策为依据，设计出一个宏伟的方案，怎样发挥社会主义制度的优越性，和利用科学技术的最新成就，从目前的国家情况转化到上面大致勾画的 21 世纪初年的情景，一步一步走的方案。要做这项工作必须搞好确切的情报资料，这在前面已经讲过。在这里我们再具体化一点。要什么情报资料？这要包括各种生产组织经营的典型，生产技术的各种典型以及技术革新、技术改造的典型，群众的建议和来访来信，专业干部的建议，国内国外科学技术情报、经济情报和组织管理技术情报和国际贸易情报等等。情报资料库就要把这种复杂、浩瀚的资料组织存贮好，以便随时检索取出利用。

有了情报资料还得加以分析。第一是要分析出一个我国社会主义经济的综合计算模型，也就是每一种产品，每一项活动和其他千百万产品和活动的关系，而且要定量的关系。这是为了上电子计算机算。第二个分析是要从大量的典型和建议中得出改进我国每一项生产和其他社会活动的措施，列出清单，并明确其投资和效果，如提高劳动生产率多少，降低成本多少等等。

这些都是准备工作，是社会工程的一部分，但还不是社会工程的主体部分。主体部分是把综合计算模型和改进措施结合起来，在电予计算机上算出一年一年整个社会和国家的经济和其他方面发展的情况。我们常说社会科学不同于自然科学，是不能作试验的。而在这里我们是在电子计算机上做社会主义建设的“试验”，不是真的拿社会和国家作试验，而是在计算机上模拟试验。如果我们的综合计算模型和改进措施的数据是基本准确的，那么模拟试验的结果也是可信的。因此所用的综合计算模型要力求准确，我们可以用各种方法来检验它。例如可以用它来“往回算”。算前一年、前两年、前三年的情况，看与实际统计资料是否相符。既然综合计算模型包括千百万项产品和活动，这种模拟试验只是在有了运算速度和运算能力极大的电子计算机之后，才有可能；因为下一年的情况要很快（比如用几小时）就得到，才有用处，如果是算一年多或更长时间，才算出来，那这件事就失去意义。不但是算一次，我们还可以变换准备采用的改进措施，再在电子计算机算一次，看看结果比前一个方案好还是差，包括各种方案的 30 年长远规划也许算上 6 个月就都出来了，那我们可以从中选取一个或几个能使我国国民经济持久地高速度发展的最优方案，提供党和国家的最高领导抉择。

自然我们分析得出的综合计算模型和改进措施的数据不可能百分之百地准确，而且事物也总是不断发展的，模型要变，数据也会变。还会有各种创新，有新产品、新设备出现。科学也会有新的发现，从而开拓前所未有的途径。这都是我们制订长远规划时未认识到的情况。这就要求我们在执行中对规划作新的调整。

甚至在年度计划的执行中，逐月逐日都会出现不平衡，要求社会工程工作者能及时采取措施，以达到新的平衡。这种调整工作也是用电子计算机做的，先用电子[17]计算机做模拟试验，得出结果，再定措施。

我们说的改进措施包含生产关系的和上层建筑的改善，使之更适应于生产力和经济基础，所以用电子计算机作模拟试验，还可以导致社会工程工作者提出关于调整生产关系和上层建筑的建议。

四

因为社会工程毕竟深深依靠社会科学，社会工程专业人员（他们的组成参见注释[2]）的培养似可放在综合性社会科学高等院校，像中国人民大学。那里可以设置一个系。此外社会工程还要吸收大量系统工程专业人员参加，他们的培养已在《系统工程》一文中讲到，不在这里重复了。

当然，社会工程是综合了近 100 多年来马克思主义的社会科学发展成果，综合了近半个世纪自然科学技术发展成果，并吸取了近 20 多年电子计算机发展成果才成立的。

以前，资产阶级科学家也好心地想建立这门技术：1845 年著名物理学和数学家安培提议建立国家管理学，到 20 世纪 1954 年美国数学家维纳也倡议搞国家规模的控制论。现在更有许多人在搞未来学和未来研究。但如果不以科学共产主义理论和马克思列宁主义、毛泽东思想理论为基础，又能取得什么样的结果呢？让我们社会科学工作者、自然科学工作者和工程技术人员携起手来，共同努力，吸取一切可以利用的东西，勇于创造，来完成这项光荣而艰巨的任务。我们要时刻想到恩格斯所讲的一段话；千百万无产者为之奋斗的理想，是建立这样一个社会：“社会生产内部的无政府状态将为有计划的自觉的组织所代替”，“人们自己的社会行动的规律，这些直到现在都如同异己的、统治着人们的自然规律一样而与人们相对立的规律，那时就将被人们熟练地运用起来，因而将服从他们的统治。人们自己的社会结合一直是作为自然界和历史强加于他们的东西而同他们相对立的，现在则变成他们自己的自由行动了。一直统治着历史的客观的异己力量，现在处于人们自己的控制之下了。只是从这时起，人们才完全自觉地自己创造自己的历史；只是从这时起，由人们使之起作用的社会原因才在主要的方面和日益增长的程度上达到他们所预期的结果。这是人类从必然王国进入自由王国的飞跃。”[4]我们搞社会工程正是向这个方向前进！

原载《经济管理》，1979 年第 1 期。

[18]

参考文献及注释

[1] 沈恒炎:《一门新兴的综合性学科——未来学和未来研究》,《光明日报》1978 年 7 月 21 日、22 日、23 日，第三版。

[2] International Institute for Applied Systems Analysis 是一个以美、苏为主，有捷克斯洛伐克、西德、东德、波兰、加拿大、法国、日本、保加利亚、英国、意大利、奥地利、匈牙利、瑞典、芬兰和荷兰（到 1977 年底的情况）参加的国际学术性研究所，研究国家、国际和地区性未来发展问题。所址在维也纳郊区 Laxenburg。在 1977 年有研究人员 146 人，其中有：系统分析员 13 人，工程师 15 人，自然科学家 14 人，数学家 16 人，计算机科学家 15 人，运筹学 11 人，经济学家 31 人，其他社会科学家 12 人，环境生态专家 14 人，生物和医学家 5 人。

[3] 在资本主义国家有人使用过“社会工程学”一词，想通过局部的改良来巩固资本主义制度，这同我们这里所讲的社会工程根本不一样。

[4] 《反杜林论》,《马克思恩格斯选集》，第 3 卷，第 323 页。

[19]

军事系统工程

钱学森　王寿云　柴本良

现在全党工作的着重点已经转移到四个现代化上来，全党、全军和全国人民正在齐心协力把我国建设成为一个社会主义的现代化强国。恩格斯早就说过："革命将以现代的军事手段和现代的军事学术来与现代的军事手段和现代的军事学术作战。" 实现国防现代化，就要实现军事手段的现代化和军事科学的现代化。毛主席指出："十大军事原则，是根据十年内战、抗日战争、解放战争初期的经验，在反攻时期提出来的，是马列主义普遍真理同中国革命战争实践相结合的产物。运用了十大原则，取得了解放战争、抗美援朝战争的胜利（当然还有其他原因）。十大原则目前还可以用，今后有许多地方还可以用。但马列主义不是停止的，是向前发展的，十大原则也要根据今后战争的实际情况，加以补充和发展，有的可能要修正的。"毛主席把马列主义普遍真理同中国革命战争的实际相结合而形成的中国人民解放军的军事学术思想，当然要随着军事手段的发展而发展，但它是我军事路线和军事战略的出发点，在我军实现现代化的过程中居于主导位置。

我们在本文中要讲的，不属于这一类非常重要的问题，而是在这些根本性问题解决以后，如何更好地去贯彻执行的问题，也就是技术性问题。讲得具体点，就是利用现代科学技术的新成果来帮助搞好新武器研制、参谋业务、组织指挥、后勤业务和军事学研究的问题。所谓现代科学技术新成果特别是指运筹学的发展和电子计算机的发展。由于这两大发展带来了一大类组织管理技术的迅速成长，也就是各种系统工程[1]的成立和各方面的应用[2]。与军事直接有关的一门系统工程是军事系统工程。

战争是由许多部分构成的不可分离的有机整体。在人类全部的社会实践活动中，没有比指导战争更强调全局观念、整体观念，更强调从全局出发、合理地使用局部力量，最终求得全局最佳效果的了。这正是系统工程的精华所在，我们沿用"工程"这个词最先出现时所具有的含义，恢复了把执行服务于军事目的的活动称为"工程"[3]；我们在本文中用"军事系统工程"而不用"军事运筹学"[4]来表示战争中参谋活动的职能。下面陈述的就是介绍军事系统工程在国外发展的简史和军事系统工程在各方面实际能办的事。我们想通过这一简短的介绍，引起同

志们[20]对这项新技术的重视，从而开展这方面的工作，促进我军的现代化。当然我们讲的很可能有错误，也希望同志们指正，好把问题弄清楚。

一

一切技术的建立和迅速发展都需要一定的历史条件，即既要有必要，又要有可能；军事系统工程这门技术也不例外，而条件都在第二次世界大战中具备了，所以这时就开始了军事系统工程的发展。我们就首先陈述在英美两国的这段历史。

第二次世界大战前夕，英国面临着如何抵御德国飞机轰炸的问题。当时，德国拥有一支强大的空军，而英国是个岛国，国内任一地点离海岸线都不超过 100 公里，这段距离德国飞机只需飞行 17 分钟。英国要在这 17 分钟内完成预警、起飞、爬高、拦击等动作，这在当时技术条件下是很难完成的。为此，英国的无线电专家沃森-瓦特[5]研制成了一种新型无线电装置，它能在很远距离探测到来袭飞机，这样，英国防空部队就有时间来做好反空袭工作，使英国飞机能在防空圈外，甚至海上拦击敌机。这种新型无线电装置就是我们现在熟知的雷达。然而在几次防空演习中，雷达装置虽然探测到 160 公里远的飞机，但是没有一套快速传递、数据处理和信息显示的设备，所以探测到的信息无法提供指挥作战人员使用。这个问题终于使英国雷达研究人员认识到，要想成功地拦击敌机，光有探测用的雷达是不够的，还必须研制一套信息的传递、处理与显示设备，配套成龙才能发挥武器系统的威力。这种系统化的要求与概念，促使英国雷达研究单位在 1939 年建立了世界上第一个有组织地、自觉地按照系统的观点、用系统工程方法分析和研究作战使用问题的小组，当时称为作战分析小组，后称运筹学小组。这个小组由一位教授和一位海军军官领导，成员包括三名心理学家、两名应用数学学家、一名天文物理学家、一名普通物理学家、两名数学家、一名陆军军官和一名测量员。有了这个小组在系统分析工作上的贡献，英国防空预警雷达的功能才充分发挥出来。

在第二次世界大战期间，英美两国还在反潜、反空袭、商船护航、布置水雷等项军事行动中使用了系统工程的方法，并取得了良好的效果。

从 20 世纪 50 年代开始，以热核武器和洲际导弹的出现为标志的现代军事手段的发展，促进了军事学术思想和作战方法发生新的变革。60 年代初，美国新任国防部长麦克纳马拉为了改变美国在战略核武器方面落后于苏联的状态，提出著名的“麦克纳马拉战略”，对美国的战略方针、组织机构、预算规划、武器管理进行了系统的改革，并取得了成效。麦克纳马拉用来实现他的思想的一套方法就是军事系统工程。目前美军从事系统工程的专业人员已达 3 000 余人，此外在私人

企[21]业中还有若干家为美军服务的系统工程公司，他们拥有专业人员约 7 000 余人。西欧各国、日本和苏联也很重视和应用军事系统工程。军事系统工程方面的专业机构，已成为现代化军队不可缺少的业务部门了。

二

恩格斯关于作战方式的一个著名论断是："一旦技术上的进步可以用于军事目的并且已经用于军事目的，它们便立刻几乎强制地，而且往往是违反指挥官的意志而引起作战方式的改变甚至变革。"从原始的部落战争出现，一直到整个中世纪，由于技术的发展，17 世纪末叶欧洲资本主义强国相继建立了新式的海军和陆军。新的武器带来了新作战方法，而新的作战方式提出了训练军事指挥和参谋人员的需要。从 20 世纪开始，机关枪、飞机、坦克、化学和生物战剂、潜艇、无线电通信、雷达、直升机、喷气飞机、惯性导航、电子对抗、核武器、核潜艇、远程导弹、电子计算机、巡航导弹、精确制导武器、航天技术等等，一个接一个地出现在军事舞台上，一次又一次地促进了战争的战术形式甚至战略思想的演变。处在这样一种军事技术急速变革的进程中，一个突出的问题是：如何使军队在和平时期紧紧跟上这种变革的步伐，以避免在一次新的战争开始之后，由于不适应作战方式的变化而不得不付出的生命和物质损失。这是各国军队面临的课题，也是我军实现现代化建设所面临的一个研究课题。解决这一课题的途径是：模拟实际战争的实验室演习，它常常要用电子计算机。这是参谋业务的现代化。

战斗模拟，乍听似乎是一个新的概念，但是，它并不新，它是图上作业、沙盘作业、实兵演习等等自然发展的产物。1811 年，普鲁士国王腓特烈•威廉三世的文职战争顾问冯•莱斯维茨[6]。以1∶2373 的比例制作了一个沙盘模型，代替战棋棋盘玩战争游戏，受到威廉三世的鼓励；又用胶泥制作了一个精巧的战场模型，鲜明地显示出地形特征，用彩色把河流、道路、村庄和树林表示出来，并用小瓷块代表军队和武器，陈列在波茨坦皇宫供作军事游戏。1816 年，老莱斯维茨的儿子把这种宫庭游戏变成一种有军事用途的东西，他把作战经验和时间概念引入这种游戏，用这些经验建立起若干规则，然后利用沙盘和地图表演出营、团一级的战斗。1824 年，德军总参谋长密福林[7]在视察了利用沙盘、地图进行的对阵表演后说过："这不是游戏，这是名副其实的战术学校，我的责任是把它推荐给整个军队。"普鲁士在 1866 年对奥地利和 1870 年对法国的战争中，事先利用沙盘作业和图上作业进行演练，为战争的胜利作出了贡献。因此，从 1872 年开始的这种当时人们称之为"战戏"[8]的沙盘地图对阵，连同总参谋部组织、军事学院就成为普鲁士军队成[22]功的三个因素，并逐渐为各国所仿效。沙盘地图对阵从此在军事

领域牢固地建立起来了。

所谓沙盘地图对阵，就是在以沙盘、地图表示地形地貌，以标识器表示军队和武器配置的战场模型上，利用反映实战条件约束的若干行动规则，交战双方指挥官和参谋人员以下棋方式进行策略运筹的对抗。在 19 世纪末和 20 世纪初，沙盘地图对阵主要用于军事训练。第一次世界大战时在东普鲁士战线，发生了军事历史上的一个有意义的事件。1914 年 8 月，俄国苏霍姆利诺夫[9]将军指挥两个集团军数十万军队向东普鲁士进军。德军总参谋部用沙盘地图对阵研究了俄军进攻的态势，发现俄国第二集团军的行动对于实现两个集团军的会合来说太迟缓了。他们抓住俄军作战计划的这一弱点，制订了一个以德军前总参谋长施里芬[10]命名的作战计划，决定在两支俄国军队尚被马祖里湖[11]分隔开的情况下发起反击，结果以劣势兵力在茵斯特堡[12]大败俄军，迫使俄国第二方面军司令官萨姆索诺夫[13]自杀。俄军作战计划这一致命缺陷，本来在 1914 年 4 月俄军总参谋部的沙盘地图对阵中已有暴露，却未引起注意，结果酿成了俄军的失败。

在现代军事历史上，德国和日本运用沙盘地图对阵拟制和检验作战计划所取得的成果是很突出的。德国在第二次世界大战前夕和大战过程中，把沙盘地图对阵作为开始一项作战行动的正规程序，几乎所有的大规模作战计划，如闪击法国的计划，进军英国本土的“海狮作战计划”，以及进攻苏联的“巴巴罗萨”计划，在其拟制过程中都进行沙盘地图对阵。日本在上次大战期间，也用沙盘地图对阵编制和检验作战计划，并进行试演，这些计划包括攻占印度支那、偷袭珍珠港、占领菲律宾、香港、新加坡、马来亚、缅甸、荷属东印度群岛、所罗门群岛等。第二次世界大战过程中，英国、美国应用沙盘地图对阵也取得了重要成就。

第二次世界大战时期的沙盘地图对阵，虽已用到了一些统计学和概率论的知识，但主要还是靠军事经验，艺术的成分多于科学技术。从 50 年代开始，由于新的数学方法和电子计算机在沙盘地图对阵中的应用，大大改变了作战模拟方法的面貌：1952 年，美国科学家把处理随机因素的蒙特-卡洛方法[14]应用于设计沙盘地图对阵。按照这种方法，随机因素在一次实际战斗中的作用，是由一种所谓“随机数”来扮演的。随机数可以由种种不同的方法产生，最简单的是掷骰子，也可以旋转轮盘赌式的转盘，或从一组纸牌中任取一张牌，或者从一张随机数表[15]中取一个数。如果事先通过统计方法知道了某一偶然性事件的概率分布，就可选择合适的随机数发生方法来进行模拟。例如，某一作战地区在某一时间区间下雨的概率是 25%，那么就可抽出一张梅花纸牌代表下雨，抽出其它花色纸牌表示天晴。偶然性事件的后果是采用随机抽样过程来确定的，过程的多次重复即模拟出可能的战斗结局的概率分布。[23]

克劳塞维茨说过："战争是充满偶然性的领域。人类的任何活动都不像战争那样给偶然性这个不速之客留有这样广阔的活动天地，因为没有一种活动像战争这样从各方面和偶然性经常接触。偶然性会增加各种情况的不确实性，并扰乱事件的进程。"战争在人类各种活动中最近似博弈。战斗进程不仅要受战区的天气、一次射击的效果、一个士兵在阵地上暴露情况等等机遇因素的影响，而且更要受双方司令官选择策略的不确定性的影响。数学家在 19 世纪就系统地研究了关于机遇的数学理论，概率论就是一个产物，并在第二次世界大战期间的沙盘地图对阵中有所应用。而数学家们关于策略选择的数学理论死一生的研究是从 1921 年开始的；1928 年著名数学家冯•诺伊曼[16]证明了最小最大定理[17]，建立了策略博弈的基础；1944 年，冯•诺伊曼和经济学家摩根斯特恩[18]合作发表了《博弈论和经济行为》[19]这一重要著作，把博弈从关于扑克、桥牌、象棋格局的研究发展成为处理竞争性行为的数学方法——博弈论。这类竞争性行为的特征是对立利益的竞争、完全或不完全的情报、最佳对策及其和偶然性的相互作用。博弈论用于处理坦克与坦克之间、军舰与军舰之间、飞机与飞机之间的简单格斗局势的成功，进一步推动着科学家用这种数学方法去处理更为复杂的战斗局势。

战后出现的电子计算机，为更完整地处理包含在战斗过程中的复杂因素开创了广阔的前景。例如，模拟一次战斗，可能有多达成百上千的偶然性事件，如果用蒙特—卡洛方法处理，进行十次以上的循环就需要成千上万的随机数。用人工完成这件工作是十分冗长的过程，很不现实，而用计算机来做就完全可以办到。

从蒙特—卡洛方法、最小最大原理、博弈论、概率论、统计技术、电子计算机等所有这些方面吸取营养，就使得沙盘地图对阵改进了战斗模拟的能力，逐渐成熟为一门技术——战斗模拟技术[20]。1954 年美国首先设计成功的计算机化的战斗模拟模型，是这一转折的标志。

战术模拟技术的类型有：

（1）人工进行的战术模拟[21]：利用沙盘、地图、三维地形板、标识器、杀伤率方程以及蒙特—卡洛方法，按照给定的规则和数据条件，对战斗程序进行模拟。交战双方的指挥和参谋人员在分隔的作战室中按照实战方式进行策略运筹，演习裁判在专门的控制室里把双方的一对策略结合成一个局势，并馈送给双方作战室，交战双方再根据这一局势开始新的决策过程，从而推演整个战斗过程。全部计算靠人工进行。

（2）计算机辅助战术模拟[22]：在第一类模拟的基础上，利用小型计算机代替人工进行数字计算。

（3）计算机化战术模拟[23]：在沙盘地图对阵模型的基础上，用计算机语言描

述战斗程序，然后用电子计算机进行处理。电子计算机有极高的运算速度，可以[24]把较长时间的战斗过程浓缩到较短时间模拟出来。

（4）军事演习：广义地讲，战术模拟技术还包括实兵进行的野战军事演习。

战术模拟技术，实质上提供了一个“作战实验室”，在这个实验室里，利用模拟的作战环境，可以进行策略和计划的实验，可以检验策略和计划的缺陷，可以预测策略和计划的效果，可以评估武器系统的效能，可以启发新的作战思想。战术模拟技术，把系统工程的模型、模拟和最优决策方法引入到军事领域。在漫长的军事历史中，直到 19 世纪末，作为军事艺术的基础的各种知识都属于经验的领域。史例、作战资料，是军事家用来加工战略战术理论的主要素材。但史料并不完全是战争真实性的完整记录，因为当事人事后的回忆不一定完全，关键的当事人可能遗漏，那些影响战争抉择过程的细节可能在记录中疏忽。而且，实战的条件是不能依研究工作的意图去改变的。要在实战条件下去检验战术的每个组成部分的完善程度，是有局限的。如同对自然界实际过程的观察资料需要以科学实验资料来补充一样，作战过程的观察资料也需要以作战实验资料来补充。在模拟的可控制的作战条件下进行作战实验，能够对有关兵力与武器装备使用之间的复杂关系获得数量上的深刻了解。作战实验，是军事科学研究方法划时代的革新。

20 世纪 50 年代以来，美国、苏联、北大西洋公约组织和以色列，都十分重视战术模拟技术的研究和运用。以色列在历次中东战争的作战概念、战术和计划，甚至 1976 年 7 月偷袭乌干达恩德培机场夺回以色列人质的战斗计划，都事先经受过战术模拟技术的严格检验。目前，运用战术模拟技术的作战实验，还处在不断发展成熟的过程中。例如，仅用于训练指挥和参谋人员方面，美国陆军训练和条例司令部现已发展了一百个电子计算机化的战术模拟技术模型，所能模拟的战斗水平，从班、排、连、团、旅、师直至军团。这是军事系统工程的一个重要方面。

三

在我军科研装备管理工作中，存在这样的情况，有时一种新武器系统已进入研制定型阶段，可是对它的使用方式却尚未确定；有时一种新武器系统已经研制完成，却还在争论是否需要这种装备；有时一种新武器系统刚刚交付部队，就发现在战术使用和技术性能方面存在较大缺陷，不得不大大压缩装备生产数量。科研装备管理的这种落后状况，影响着我军现代化建设的步伐。如何改变这种状况，是我军实现现代化所面临的又一个研究课题。

第二次世界大战提供了这样的历史经验：通过周密的研究，可以找到现有武器系统的有效使用方式，使这些武器能在战斗中最大限度地发挥潜力。例如，英

国根据当时运筹学分析的结果，仅仅把飞机投放的反潜深水炸弹的爆炸水深调整[25]一下，就把对德国潜水艇的攻击效果提高了两倍。

世界军事历史提供了许多这样的教训：一种新武器系统出现以后，或者由于使用的一方不了解最有效的使用方法而不能充分发挥其作用；或者由于被攻击的一方没有预测到这种武器对作战方式的影响因而缺乏有效对策，不得不付出额外的牺牲。这里，我们通过作战飞机的使用作为例子，来说明这个问题。在第一次世界大战爆发时，飞机已问世 11 年，达到了持续飞行 160 公里的能力。但是，在大战初期，交战双方对飞机的军事潜力及其对作战方式带来的影响没有足够的了解。开初，双方仅仅受 1794 年法军利用载人气球搜集战场情报在比利时的弗勒卢[24]击败普鲁士军队的启发，只把飞机用来侦察敌情。后来，军事领导人才逐渐认识到飞机在战斗中具有比这多得多的用途。德国人用齐柏林飞船空袭英国本土的事件，激起了英法联军想到用飞机轰炸齐柏林飞船基地，从此才开始把飞机用来执行轰炸敌人的任务。双方侦察机有时在空中相遇，飞行员为了自卫开始配备手枪，以便在有利时机能向对方飞机射击，从而出现了最早的空战；为了提高射击效果，双方飞机上配备了机关枪和专门射手，战斗机进行空战成为一种夺取制空权的正式的战斗形式。而把飞机用作地面战斗支援（强击机）和后勤运输（运输机）则是更后一些的事了。

一种新武器开始用于军事目的，并不意味着就找到了最有效的战术运用方法。第一次世界大战中投入空战的飞机是双翼单发动机的螺旋桨飞机，有一个驾驶员和一个射手。这种飞机的发动机有两种安装方式：一种是装在飞机头部，这样机动性较好，缺点是射手用机关枪向正前方射击对方飞机时，有击中自己桨叶的危险；另一种是装在尾部，克服了第一种在射击方面存在的问题，缺点是机动性较差。既要机动性好又要射击方便，后来出现了使用第一种飞机的新方式：射手站在驾驶员前面的座位上，越过飞机上翼面进行射击，但由此引起的问题是射手站在时速 80 余公里的气流中，在飞机进行机动时有被抛出机舱的危险；出现的另一种解决办法是射手坐在驾驶员之后，把机枪梁在座位旁边的舱口栏板上，以便向上、向后和向侧面射击，带来的问题是当从后面趋近敌机时，驾驶员必须掉转机头或者与敌机并排飞行才能进行射击。直到 1915 年初，交战双方都认为战斗机的有利射击位置是飞在敌机前面然后向后射击，这时敌机因为害怕击中自己的桨叶而不敢还击。但在 1915 年春天的一系列空战中，那些飞在法国战斗机正前方的德国飞行员本以为占有了有利的战术位置，却为突然遭到法国战斗机的猛烈开火而感到惊愕。空战优势为法国人占有，因为法国人设计了一种与螺旋桨联动的偏转板，使机枪能向前方射击而大大减少误伤浆叶的危险。后来，一架法国战斗机因

故障被迫在德国防线内降落，德国飞机设计师福克[25]才从法国人的设计得到启示，并在此基础上进行了改进，法国的射击装置仍存在击中浆叶或者发生跳[26]弹的可能性，德国的改进式样采用了断续齿轮，使螺旋桨的运动与机关枪的发射动作完全同步，保证子弹从桨叶之间穿过。这一改进使战斗机上专门的射手成为多余，驾驶员一个人就能完成操纵飞机、瞄准目标、击发扳机等动作。从这时起，战斗机的最有利射击方式才稳定下来，双座战斗机从空战舞台上消失，而为长、僚机配合的战术新形式所取代。

新武器系统的设计者一般是从提高或者改善现有武器系统的效率出发，凭借实战经验和自己的判断来进行设计的。因此，新武器系统在交付实战应用以前，它的效能仍然存在许多不确定性，最后的检验完全靠实战。现代武器系统越来越复杂，破坏力越来越强，投资越来越大，研制周期越来越长。在发展现代化武器装备的过程中，为了在研制阶段避免人力、物力和财力的浪费，为了在使用阶段避免因使用性能的缺陷造成不必要的牺牲和物质损失，需要制订一系列的科学方法，对新武器系统的运用必要性、技术可行性、性能指标和使用效率进行论证、评估、预测和检验。从 50 年代起，特别是 60 年代以来，军事技术先进的国家纷纷投入相当可观的研究力量来发展这方面的科学方法，并获得了很大成果。例如目前他们都在研究对军用无线电装置干扰和反干扰的电子对抗技术，这是装备设计和使用中的一个大问题。又如，由于红外和激光技术的迅速发展，即将出现“光对抗”这一重要课题。

这方面已经发展的科学方法有两大类型，一是模拟实验技术，二是理论分析方法。属于模拟技术的有：（1）在武器型号开始研制之前，利用前一节讲的战术模拟技术，建立人—武器结合的战术对阵模型，通过模拟，对拟议中的武器系统的作战能力进行测验。如果证明其效用不高，那么严重的浪费和损失就有可能在拟议阶段予以避免；（2）在武器型号研制过程中，不断用系统模拟方法分析、检验新武器系统内部技术性能，协调各分系统之间的关系和技术指标；（3）在武器系统研制出来之后，研究新武器系统使用性能的模拟训练方法（如各种飞行模拟器、坦克炮塔训练模拟器等），以加快训练进程、节约消耗和费用，制订有效的使用方法。属于理论分析方法的主要是运筹学的各种计算分析技术。系统地运用上述模拟方法和理论分析方法，就可以做到：根据国家的战略方针和战术原则，针对现有装备在未来的或现实的战争中与对方装备对抗可能出现的问题，利用科学技术的最新成就，提出发展新武器系统的建议；根据国家批准的发展新武器系统的任务，在委托的研制单位对拟议的新系统进行总体方案分析的同时，拟订出新系统的性能要求、技术规格，作为实际设计工作的依据；根据新武器系统运用的

战略和战术环境，预测新武器系统对作战方式带来的影响，拟订最优的使用原则。

这就是科学地论证新武器使用方法和确定武器系统战术技术指标的技术，是军事系统工程的一个分支。[27]

四

要进行战争和赢得战争，必须有充足的物质准备。恩格斯说过："暴力不是单纯的意志行为"，"没有经济条件和资源，暴力就不成为力量"。自古以来，指导战争的人们都十分重视后勤保障工作。我国古代著名的兵书《孙子兵法》写道："军无辎重则亡，无粮则亡，无委积则亡"。极为明确地说明，一支军队如果没有后勤保障与物资储备，将注定打败仗。因此，组织后勤保障也是一种参谋职能。

在古代，交战双方使用的武器装备十分简陋，各种兵器不外乎是将士随身携带的刀枪棍棒。相形之下，粮草的重要性就十分突出。"兵马未动，粮草先行"，这句话一方面说明粮草在古代战备工作中所占的重要地位，另一方面也说明了当时后勤保障工作的相对单纯性，与现代战争比较，不免有点相形见绌。例如，二次大战中英美组织实施的诺曼第登陆战役，仅准备时间即达半年，他们不仅制造和调集大量船只，筹集了几十万吨的各种作战后勤物资，还专门设计了一种"人造港口"以便在登陆场能停靠大量船舶，快速卸下各种器材。登陆后，他们还立即铺设了穿越英吉利海峡的输油管，从而在不到一个月的时间内，运送了 100 万军队，56 万吨物资和 17 万辆汽车，保证战役的顺利开展。二次大战期间，美军为了制订一套严密的后勤管理制度，集合了几百名统计学家和其他各类专家，并雇用了大批人员，组织了一支后勤管理队伍，保证了当时后勤计划工作的需要。

现代的武器装备如果没有物资技术保障，就变为废铁，坐等挨打。同时由于现代战争的破坏性、突然性强，各种武器、弹药的消耗量也极大。根据推算，一个摩托化步兵师进攻，日消耗量将达 1 000 吨，一个集团军达 8 000 吨；一个方面军一次战役，仅油料就要消耗 30 万吨。由于武器装备机械化程度的不断提高，物资消耗的构成也发生了变化，比如美军在越南战争中石油产品消耗量占其物资总耗量的百分之七十。

后勤物资品种繁多，物资消耗惊人，这仅仅是后勤工作中的一个方面的问题，它要求我们必须做好战时和平时的各类军用物资的生产和储备工作。但是必须看到，光有物资准备是远远不够的，更重要的还必须有一套科学的后勤工作的组织、计划与管理方法。由于现代化后勤工作的任务十分繁重，完全依靠人来进行组织、计划与管理工作，就远不能满足要求，必须借助电子计算机，才能完成繁重复杂的计算工作。为了发挥计算机的作用，除了必备的各种技术设备（自动化数据处

理设备等）外，还必须要有资料信息工作和数学计算工作这两方面的保障。

后勤系统的资料信息工作包括各种军用物资的库存、需求、消耗、运输等方面的数据及其各种的供应标准、性能规格和费用等资料，这些资料数据还须在后勤[28]系统各个环节和同后勤系统相关联的其他各部门之间的信息顺利地流通和交换。鉴于后勤系统中的不同的工作需要采用各种不同的信息，因此信息的种类和结构也是复杂繁多。加之，由于战局态势的多变，各种信息必须经常地进行更新，这就使得资料信息工作更为艰巨。后勤系统中巨大的信息数量、复杂的信息流程、自动的信息加工、快速的信息存取，要求运用信息理论和反馈技术，以满足后勤管理工作中精确计算、正确决策的需要。

要使后勤系统的组织管理工作得以顺利进行，除了必须得到资料信息工作的保障外，还必须进行大量的数学计算工作，以使有关后勤工作的各项政策、计划和各种标准、规格的制订工作都能建立在一个经过精确计算、周密分析的科学基础上。例如，在战争破坏性和突然性都很强的今天，有关各种武器装备的库存量的确定，就是一项极为复杂的问题。在制订库存量时，我们既要掌握过去的历史资料，又要估计未来战争物资消耗的情况，并且不间断地密切注视国际形势和敌我力量的动态变化，最后还得结合国家的经济与资源情况，综合考虑，统筹规划，才能把这项工作做好。这些工作光靠人来做，显然难以及时完成，因此，必须有先进的计算工具——电子计算机。

二次大战以来，出现了专门研究库存、物资计划问题的库存论[26]，从而形成了新的后勤组织管理技术，这一类技术是组织和运转现代化后勤系统的必由技术途径，是实现现代化后勤系统的基础。如果没有这一技术，就无法进行后勤业务的科学组织管理工作，就无法制订各种最佳方案与计划；即使有了巨大雄厚的物资基础，也无法发挥出其应有的作用。由此可见现代化的后勤系统，一方面是需要雄厚的物资基础，先进的技术设备，另一方面还需要有一套科学的组织管理技术，两者缺一不可。这也是军事系统工程的一个重要方面。

五

指挥方式是随着总的作战方式的发展而演变的。公元前 8 世纪，周宣王在遇有西戎入侵时，即以烽火、鼓声传令诸侯出兵，共同保卫镐京（今西安）。公元前 3 世纪，马其顿国王亚历山大大帝亲自制定进军计划，并在军队的头阵率众投入战斗，通过战争征服建立了横跨欧、亚、非三洲的大帝国。17 世纪瑞典国王古斯达夫•阿道夫征服了被罗的海诸国，1632 年他亲自率领军队强渡德国累赫河，站在战场附近的小山上通过传令兵指挥战斗。从 19 世纪中叶开始，由于军队众多性

和机动性的提高，军事统帅的指挥位置逐渐从直接的战斗现场退下来，到了陈列地图的作战室中。这正如恩格斯在 1851 年所描述的：“战略行动，——各军队集团行动的协调——应当由一个中枢地点用电报线路来指挥”；“而不用电报，就绝[29]对不可能指挥他们”。在第一次世界大战中，将帅们通常是在战线后面的大本营里分析各种来源的情报并进行策略谋划；在第二次世界大战中，远离战线的大本营在一次战役实际发生之前数月时间就要做出种种决断，准备好战役计划。

新的指挥手段是指挥方式每次新的改进的前提。在恩格斯时代，铁路网使欧洲军队具有新的机动性，电报使得在欧洲战场有了采用中枢指挥方式的机会。在两次世界大战中，军队的动员规模和因飞机、军舰、摩托化而带来的机动性又提升到更高水平，无线电通信技术使大本营指挥方式进一步得到完善。20 世纪 50 年代以来，远程喷气飞机、直升机、高速舰艇赋予一支现代化军队史无前例的机动性；洲际导弹、远程喷气轰炸机、机载空地导弹和导弹核潜艇，能把几十万吨、几百万吨以至上千万吨黄色炸药当量的破坏力量在极短时间内投送到先前所梦想不到的远距离。这一切又给指挥方式的变革提出了新的要求。这种变革的新要求就是要极大地提高作战指挥的效率，使军队行动具有更大的突然性和反应速度。恩格斯说：“正如同纺织机的生产率如果不用蒸汽力代替人力，也就是说如不创造与旧的手织机大不相同的新的生产工具，便不能增加三倍一样，在军事学术上也不能利用旧的手段去达到新的结果。只有创造新的、更有威力的手段，才能达到新的、更伟大的结果”，这次触发指挥方式新变革的正是电子计算机，电子计算机使作战指挥自动化成为可能。

在作战指挥过程中，有哪些工作是可以用电子计算机来高速度完成的呢？

首先一大类可以用电子计算机来完成的工作是：对所获取情报的编码、存储、传输、显示读出、复制，以及战斗文书的编写、编码、下达和译出，这属于信息系统工程或自动化信息体系的标准工作，这方面的技术是成熟的。情报材料存储在电子计算机中，并且可以随时更新。从电子计算机中调阅情报材料，可以做到如同使用记忆在人脑中的材料一样方便，军事参谋可以把智慧更集中于作战分析工作。其次，在作战分析工作中，也有一大类是可以用电子计算机来高效率完成的，这就是前面第二节中讲的战术模拟技术，这里不再重复了。用现代信息和情报技术组织指挥体系，再用战术模拟技术来制订、模拟并优选作战方案，这就是现代指挥系统的实质。

现代化指挥系统，是由电子计算机、指挥运算程序、通信网络、终端和各分系统之间的接口形成的体系结构。搞好这个体系结构，是复杂的系统工程。美国建立自动化指挥、控制与通信系统的过程也足以说明问题的复杂性。他们在 1962

年即建立全球军事指挥控制通信系统，但是结构松散，部门与部门之间，各种通信方式与手段之间的“接口”问题没有解决好，实际上达不到“全球指挥”的目的。为此，美国经过 10 年的摸索过程，在 1971 年重新改组全球指挥系统，首先抓“全球指挥系统的体系结构”研究，弄清各有关单位上、下、左、右之间的各种接口关系，体[30]现了系统工程的原则，然后进行系统分析、系统设计，并把整个工作放在由国防部副部长为首的一个专门委员会进行统一规划与领导。为了更好地开展“体系结构”计划的工作，该委员会还成立了一个总系统工程师办公室，开始时只有 15 个工作人员，到 1976 年增至 45 人。该办公室在系统总工程师领导下，监督和指导整个体系结构计划的贯彻执行，并在国防部各有关业务部门共同咨询下，为全球军事指挥控制系统的建设和技术改进工作，提供系统性的总体技术指导。它的经常工作是：一、负责指挥中心与各下属部门之间以及战略与战术之间的接口问题；二、了解国防部和各军兵种有关指挥、控制和通信方面的计划，使与体系结构有关的部分保持协调；三、为该系统的计划管理、物资调拨以及试验鉴定，提供技术支援；四、负责系统工程工作与费用估算；五、将该系统的体系结构计划恰当地转变为国防部及有关军兵种的具体计划与安排。

从以上的阐述来看，现代军事指挥系统的设计是一个很庞大的工程，它所用的通信方式与手段十分繁多，涉及的面极广，各个部门之间的“接口”问题十分突出，因此必须要建立一个高度集中的领导机构，利用系统工程的原理和方法，设计出一个全面统一的整体规划，全面地制订标准化与通用化计划，才能真正实现高度集中的自动化。这又是军事系统工程的叶 重要方面。

六

外文中“战略”这个词原意是将军的意思，后来军事家用它来表示“统帅的艺术”。克劳塞维茨总结了截至拿破仑为止的军事历史，把统帅对军队的战略领导称之为艺术，因为统帅都是依靠自己的才智亲自设计战略计划并亲自指挥军队的。然而，到了现代，任何一个统帅，无论他具有多么大的才能，都不能靠他一个人亲自组织、指挥、协调和操纵一部由千万个部件组成的庞大的现代化军事机器。一支现代化军队的统帅，必须在系统的参谋队伍和军事科学研究机构的辅助下，才能实现他对整个军队的统率，这正如现代在一切规模较大的社会生产和科学研究中所发生的情况一样。

军事领域内这样一个深刻的变化是一个过程。我国早在汉末军中就设置了作为统帅的幕僚官“参军”，在唐就有明确的固定的军事参谋职位[27]，而在西方则要晚得多。直到 17 世纪在古斯达夫时代才萌发了一种对参谋工作的需要，他后来以

很不正规的形式设置了助手，这些助手没有形成组织，只是在国王感到必要时才被叫去咨询意见。在 18 世纪的欧洲，参谋概念的发展是比较迟缓的。普鲁士国王腓特烈大帝事实上是他自己的作战参谋长，拿被仑习惯于骑在马背上巡视整个战场，他集全部指挥大权于自身，他要求所有情报直送他本人，他在设计作[31]战计划时不需寻求参谋意见。但是，由于他拥有数倍于腓特烈大帝的军队，再加上机动性的增长，战争已变成举全国之财力物力支持的复杂活动，他需要一个作为参谋的助手，帮他记住军队的配置情况，并且把他的决策变成书面指令，发布给隶属单位，以协同完成他的作战设计。拿被仑的这个助手就是柏特尔将军。后来，柏特尔在 1796 年提出了关于理想的参谋组织的思想。现代形式的总参谋部是 19 世纪初（大约是 1801 年至 1806 年间）首先在普鲁士出现的。总参谋部作为一种组织，在和平时期拟制作战计划，系统地搜集在未来战争中需要的情报，如地形侦察、地图准备等。总参谋部在参谋学院的帮助下，通过历史研究、沙盘地图对阵，解析战争对策和军事演习来准备作战计划。

任何统帅的抉择过程的基本程序是：根据国家的政治目标，了解国际国内的形势，分析可供选择的各种作战方案，考虑敌人可能作出的各种反应，选择最可能取胜的方案。要作出决断，他需要两种类型的材料，一种是可以定量描述的材料，例如：敌我双方的经济势力、军备、人力物力资源，以及它们在各种规模冲突中的消耗速率，武器系统的效能和易损性，后勤供应能力，随机因素的影响，以概率分布表示的敌我双方各种行动方案的效果，等等。另一种是定性描述的材料，如历史经验、士气、民心、传统、政治形势等等。用科学方法生产这些材料，就是现代军事参谋工作的任务。在第二次世界大战及战后的军事冲突中，由于战争在方法和手段上的复杂程度较以往有了很大增加，交战双方都需要对所采取的措施和反措施进行精确的定量分析，才可望在对策中取胜。因此，对参谋工作的要求愈加精益求精。统帅部对这种精确分析信息的强烈要求，成为参谋手段和参谋组织实现科学化的巨大动力。这一推动力的直接结果，就是一类专门为军事机关提供定量材料供决策参考的研究机构的出现，如美国国防部所属的计划分析与鉴定部，三军参谋长联席会议所属的研究分析与对策部，陆军参谋部所属的计划分析与鉴定局，空军参谋部所属的研究分析局，海军都所属的计划规划局，等等。这类研究机构按照不同的职责分工，运用数学和其他科学方法研究战略、战术和技术的相互作用，研究作战技术和装备使用方法的改进。

在 19 世纪初叶，克劳塞维茨把军事科学称为军事艺术，他描述说：“在这里智力活动离开了严格的科学领域，即离开了逻辑学和数学的领域，而成为艺术（就这个词的广义而言）……”从那以后，由于军事领域发生的深刻变化，今天，一

幅全新的图像已经代替了这一描述。

战争各部分的关系错综复杂地交织在一起，这些相互关系还充满了偶然性的影响。从整体观点去处理这些关系是一道难题。拿破仑说过，这是一道连牛顿那样的人也会被吓退的代数难题。那时，军事统帅不是用数学而是用艺术来对这些难题作出判断。一个多世纪以后，出现了拿被仑时代未曾有过的东西：作为作战[32]实验工具的战术模拟技术，军事家用来协助作出决策的运筹学理论方法，强有力的计算工具——电子计算机，以及运用这些科学手段的现代参谋组织，所有这一切已使定量地解决战略难题成为可能。

当然有可能还不等于就已经能真的做到。现代战争的复杂程度是空前的，涉及到整个国家人力物力的调度，还有许多国际因素，要在电子计算机上模拟一场大规模的战争是要把前面第二节里讲的战术模拟的范围加以扩大，时间过程延长；而且要把前面讲的第二节、第四节，第五节的内容都串联组织在一起。但把这么大范围的人类集体活动纳入一个科学定量计算模型的工作还开始不久[28]，就是有了模型，许多数据也还没有测定，现有电子计算机也不够大，计算能力受限制，要把战争博弈理论用在解决战略问题，还有待于科学技术的进一步发展，有待于社会科学的进一步发展。尽管如此，把这些已有成果用于某些战略的研究则是完全可能的，例如研究所谓“机灵武器”（即精确制导武器）对战略的影响[29]。这是军事系统工程的又一重要贡献。

七

我们在前面几节中陈述了军事系统工程在参谋业务方面、在武器使用方面、在后勤业务方面、在组织建立指挥体系方面、在战略研究方面的应用，试图说明系统工程对我军现代化的重要意义。这些科学技术的发展虽然来源于资本主义国家，原来也是为他们国家的侵略政策服务的，但是军事系统工程是工程技术，是人类掌握了客观规律之后用来改造客观世界的技术，资产阶级能用，我们无产阶级也能用。我们可以“引进”这门技术来促使我国国防的现代化，这应该是毫无疑义的了。

我们应该首先考虑在我国建立必要的工作队伍。这又包括两个方面，一是在有关的部门配备军事系统工程的专业人员，如在从总参谋部到各级司令部都要有专业人员，从总后勤部到各级后勤部也要有后勤系统工程的专业人员。他们都是用军事系统工程的专业技术来加强参谋和后勤业务的，他们要与本部门的其他人员密切协同配合，共同完成上级交给的任务。

再一个方面是在我军设置研究和运用军事系统工程以及发展各种军事系统工

程理论的专门单位。例如在军事科学院、在各军、兵种都应该有军事系统工程的研究单位；各兵种的单位除研究战术外，还要对新武器的研制提出论证和战术技术要求。

为了配合以上工作，还需要多方面的确切数据，这是要各部队通过许多演习来收集的。例如：敌我双方武器的命中概率、易损性、操作效率，以及各种情况下[33]目标的暴露程度、对目标的发现概率等。这就要求有负责组织这项工作的机关。

估计在不久的将来从事军事系统工程工作的人员将达几千人，其中专门学军事系统工程的高等教育水平的干部约一两千人。这就要求每年有军事系统工程的大学毕业生大约几百人。近几年要在我军高等军事院校设置相应的军事系统工程专业。国防科学技术大学已设置了有系统工程专业的系，培养高质量、高水平的系统工程人才。至于这些专业的课程设计问题，在另外一篇文章[1]。已经讨论过，大致是两年基础课，一年专业基础课和一年专业课。专门结合军事系统工程的理论学科是反映现代战争特点的战略学、战役学、战术学、军制学和军事地理等军事科学，他们是专业基础课的一个组成部分。

在陈述了军事系统工程的五个方面的工作以及建立机构和培养专业人员之后，我们可以回顾整个问题，为什么系统工程的技术在军事上这么重要？

毛主席在《中国革命战争的战略问题》这一著作中指出“只要有战争，就有战争的全局。世界可以是战争的一全局，一国可以是战争的一全局，一个独立的游击区、一个大的独立的作战方面，也可以是战争的一全局。凡属带有要照顾各方面和各阶段的性质的，都是战争的全局。”毛主席这一段论述，深刻地揭示了战争活动的一个极其重要的规律。

成功的军事统帅都具有一种特殊的才能，他在作战中能够通过迅速的判断从大量事物和关系中找出最重要和最有决定意义的东西。至少可以说，19 世纪初的军事理论家是这样认为的。克劳塞维茨就说过：“这种迅速的判断显然就是或多或少不自觉地对各种因素和关系进行比较，这比进行严格的推论能较迅速地抛开那些关系不十分密切和不重要的东西，能较迅速地找出关系最密切和最重要的东西。”这是一种要一个人从战争实践中获得的，因而就是难于传授的。

这种局面，在 19 世纪开始有了变化。由于战争复杂程度的相对增加，19 世纪初叶在普鲁士出现了现代参谋组织和现代参谋技术的萌芽。参谋组织的萌芽，标志着军事统帅的个人才能已经需要以参谋的集体智慧来辅助；参谋科学技术的萌芽，标志着战争领域的思维活动已经需要用科学方法来进行组织。只有在这样

的基础上，军事统帅才能在错综复杂的因素中找出最重要和最有决定意义的东西。

第二次世界大战是现代参谋组织和现代参谋科学技术发展的重要里程碑，这是经历了千百年战争的实践，有了丰富的经验，才有可能进一步整理人们的感性认识，开始提高到定量的科学。这次规模空前的战争以极大的力量把一太批有才干的科学工作者吸引到拟订与评价战争计划、改进作战技术与技术装备的研究工作中。不同行业的科学工作者结合在一起，用电子计算机和其他新科学技术作为工具，研究分析作战技术、装备运用、组织指挥、后勤保障等方面的问题，并且提出[34]建议，供军事决策机关参考。这种有组织的科学活动，产生了两个有深远意义的结果，一是使作战技术、装备运用、组织指挥和后勤保障方面的参谋技巧发展成为可以传授的科学技术，即可以系统地讲出道理的知识；另一个结果是利用这门参谋科学技术为作战技术、装备运用、组织指挥和后勤保障的参谋业务服务的研究组织的迅速发展。现代参谋科学技术和现代参谋组织，形成了军事系统工程，它在当前非常庞大而又极为复杂的军事工作中是有重要的位置的，因而它也是一支现代化军队所必须掌握的。

（1979 年 8 月 9 日定稿）

本文是钱学森同志 1979 年 7 月 24 日在中国人民解放军总部机关领导同志学习会上的讲演稿，在写作中承中国科学院数学研究所和国防科学技术大学许国志同志大力协助，并提供了宝贵意见。

参考文献及注释

[1] 钱学森、许国志、王寿云：《组织管理的技术——系统工程》，《文汇报》1978 年 9 月 27 日，第一版。

[2] 钱学森，《科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学》《哲学研究》1979 年第一期。这里讲了工程技术和技术科学在概念上的区别，说明选用《系统工程》这个词的理由。

[3]英语 engineering（工程）在 18 世纪出现的时候，专指战争兵器的制造和执行服务军事目的的工作。

[4]英语 operations research（运筹学）中的 operations，本意是战争或演习过程中部队、军舰、飞机等的动作。

[5] Robert Watson-Watt（罗伯特•沃森-瓦特）(1892—)，1935 年春，他在英国东海岸建立了世界第一个试验性雷达系统。

[6] von Reisswitz。18 世纪出现的一些秘传的战争对策游戏在 19 世纪初被拿破仑战争所中断，是 von Reisswitz 复兴了这种游戏并使它职业化。

[7] Friedrich Von Muffling（弗里德里希•冯・密福林）(1775 一 1851)，普鲁士元帅，总参谋长（1820），柏林卫戍司令（1838），枢密院院长（1841）。

[8] 德文原字是 kriesspiel，字义为战争游戏，是普鲁士军队最早采用的对策模拟方法。

[9] 弗拉基米尔•亚历山德洛维奇•苏霍姆利诺夫（1848—1926），沙俄将军，历任基辅军区司令（1904），总参谋长（1908），陆军部长（1909—1915）。

[10] Alfred Schlieffen（1833 一 1913），德国著名的军事思想家和战略家，1891 一 1906 年期间任德军总参谋长。

[11] 位于波兰马祖里城附近，第一次世界大战时属东普鲁士。

[12] Insterburg，位于仆列哥利亚河畔，第一次世界大战时局东普鲁土，现名切尔尼亚霍夫斯[35]克，属苏联。

[13] 亚历山大•华西里耶维奇•萨姆索诺夫）（1859—1914），沙俄将军，历任华沙军区参谋长（1906）第二集团军司令官（1914）。

[14] Monte - Carlo 是法国和意大利交界附近摩纳哥公国的著名赌场。

[15] 按照随机方式把十进制数字 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 组合成位数一样的许多数，其中每个十进制数字出现的次序完全是随机的，但出现的机会又都是相同的；把这些组合成的数排列成表，即称随机数表。

[16] John von Neumann（1903 一 1957），出生于匈牙利的美籍数学家，对博弈论和计算机理论有重要贡献。

[17] 如果用非数学语言转述出来，这个定理的意思就是：在交战过程中，双方指挥官要在不完全了解对方采取什么策略的情况下选择自己的策略，每一方所采取的最有利于自己的策略，是假设对方是一个有理智的指挥官，他总是采取了最不利于我方的策略来进行对抗。按照这一原则选取策略，就可以在多次重复的对策中获得最大的取胜可能性。

[18] Oskar Morgenstern，美国普林斯顿大学的经济学教授。

[19]《Theory of Games and Economic Behavior》 Princeton University Press 1944.

[20] 战术模拟技术，即蒙特-卡洛战争博弈（Monte-Carlo War Game）或随机型战斗模拟（Probabilistic Battle Simulation)。

[21] 即 Manual Battle Simulations.

[22] 即 Computer - Assisted Battle Simulations.

[23] 即 Computerized Battle Battle Simulations.

[24] Fleurus，在布鲁塞尔南偏东约 40 公里。

[25] Anthony Hermann Gerard Fokker，（1890 一 1939）德国著名的飞机设计师和制造家。

[26] 库存论（invetory theory）经营管理工作中，为了促进系统的有效运转，往往需要对元件、器材、设备、资金以及其它物资保障条件，保持必要的储备。库存论就是研究在什么时间、以什么数量、从什么供应源来补充这些储备，使得保存库存和补充采购的总费用最少。

[27] 作者承张蕴钰同志指出我国军事参谋一职始见于唐代：高招武德四年（公元 621 年）“……世民表称洛阳必克，又遣参谋军事封德彝入朝面论形势。《资治通鉴》卷一百八十八。

[28] 钱学森、邬家培：《组织管理社会主义建设的技术——社会工程》，《经济管理》1979 年第一期。

[29] P.Morrison，P.P.walker;“A New Strate for Military Spending”,ScientificAmerican, Vol. 239， No.4 p.48—61，Oct. 1978. [36]

系统思想和系统工程

钱学森　王寿云

今天是中央电视台系统工程讲座的第一讲，题目叫《系统思想和系统工程》，是个开场白，稿子是王寿云同志和我写的，由我来讲。

一

系统作为一个概念既不是人类生来就有，也不是像有些外国人讲的那样，是20 世纪 40 年代突然出现的东西。系统概念来源于古代人类的社会实践经验，所以一点也不神秘。人类自有生产活动以来，无不在同自然系统打交道。《管子》《地员》篇、《诗经》农事诗《七月》、秦汉氾（音fán）胜之著《氾胜之书》等古籍，对农作与种子、地形、土壤、水分、肥料、季节、气候诸因素的关系，都有辩证地叙述。齐国名医扁鹊主张按病人气色、声音、形貌综合辨症，用砭（音边）法、针灸、汤液、按摩、熨帖多种疗法治病；周秦至西汉初年古代医学总集的《黄帝内经》，强调人体各器官的有机联系、生理现象和心理现象的联系、身体健康与自然环境的联系。战国时期秦国李冰设计修造了伟大的都江堰，包括“鱼咀”岷江分水工程、“飞沙堰”分洪排沙工程、“宝瓶口”引水工程三大主体工程和 120 个附属渠堰工程，工程之间的联系关系处理得恰到好处，形成一个协调运转的工程总体。我国古天文学很早就揭示了天体运行与季节变化的联系，编制出历法和指导农事活动的廿四节气。所有这些古代农事、工程、医药、天文知识和成就，都在不同程度上反映了朴素的系统概念的自发应用。人类在知道系统思想、系统工程之前，就已在进行辩证地系统思维了，这正如恩格斯所说，“人们远在知道什么是辩证法以前，就已经辩证地思考了”[1]。

朴素的系统概念，不仅表现在古代人类的实践中，而且在古中国和古希腊的哲学思想中得到了反映。古中国和古希腊唯物主义思想家都从承认统一的物质本原出发，把自然界当作一个统一体。古希腊辩证法奠基人之一的赫拉克利特（约公元前 460～370），在《论自然界》一书中说过：“世界是包括一切的整体。”古希腊唯物主义者德谟克利特（约公元前 540～480）的一本没有留传下来的著作名为[37]《宇宙大系统》。公元前 6 世纪至 5 世纪之间，我国春秋末期思想家老子强

调自然界的统一性[2]；南宋陈亮（公元 1143～1194）的理一分殊思想，称理一为天地万物的理的整体，分殊是这个整体中每一事物的功能，试图从整体角度说明部分与整体的关系[3]。用自发的系统概念考察自然现象，这是古代中国和希腊唯物主义哲学思想的一个特征。古代辩证唯物的哲学思想包含了系统思想的萌芽。

古代朴素唯物主义哲学思想虽然强调对自然界整体性、统一性的认识，却缺乏对这一整体各个细节的认识能力，因而对整体性和统一性的认识也是不完全的。恩格斯在《自然辩证法》中指出："在希腊人那里——正因为他们还没有进步到对自然界的解剖、分析——自然界还被当作一个整体而从总的方面来观察。自然现象的总联系还没有在细节方面得到证明，这种联系对希腊人来说是直接的直观的结果。这里就存在着希腊哲学的缺陷，由于这些缺陷，它在以后就必须屈服于另一种观点"[4]。对自然界这个统一体各个细节的认识，这是近代自然科学的任务。

15 世纪下半叶，近代科学开始兴起，力学、天文学、物理学、化学、生物学等科目逐渐从混为一体的哲学中分离出来，获得日益迅速的发展。近代自然科学发展了研究自然界的独特的分析方法，包括实验、解剖和观察，把自然界的细节从总的自然联系中抽出来，分门别类地加以研究。这种考察自然界的方法移植到哲学中，就成为形而上学的思维。形而上学的出现是有历史根据的，是时代的需要，因为在深入的、细节的考察方面它比古代哲学是一个进步。但是，形而上学撇开总体的联系来考察事物和过程，因而它就"以这些障碍堵塞了自己从了解部分到了解整体、到洞察普遍联系的道路"[5]。

19 世纪上半期，自然科学已取得了伟大的成就。特别是能量转化、细胞和进化论的发现，使人类对自然过程的相互联系的认识有了很大提高。恩格斯说："由于这三大发现和自然科学的其他巨大进步，我们现在不仅能够指出自然界中各个领域内的过程之间的联系，而且总的说来也能指出各个领域之间的联系了，这样，我们就能够依靠经验自然科学本身所提供的事实，以近乎系统的形式描绘出一幅自然界联系的清晰图画。描绘这样一幅总的图画，在以前是所谓自然哲学的任务。而自然哲学只能这样来描绘：用理想的、幻想的联系来代替尚未知道的现实的联系，用臆想来补充缺少的事实，用纯粹的想象来填补现实的空白。它在这样做的时候提出了一些天才的思想，预测到一些后来的发现，但是也说出了十分荒唐的见解，这在当时是不可能不这样的。今天，当人们对自然研究的结果只是辩证地即从它们自身的联系进行考察，就可以制成一个在我们这个时代是令人满意的'自然体系'的时候，当这种联系的辩证性质，甚至迫使自然哲学家的受过形而上学训练的头脑违背他们的意志而不得不接受的时候，自然哲学最终被清除[38]了。"[6]19 世纪的自然科学"本质上是整理材料的科学，关于过程、关于这些事物的发

生和发展以及关于把这些自然过程结合为一个伟大整体的联系的科学”[7]，这样的自然科学，为唯物主义自然观建立了更加坚实的基础，为马克思主义哲学提供了丰富的材料。马克思、恩格斯的辩证唯物主义认为，物质世界是由无数相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程所形成的统一整体。辩证唯物主义体现的物质世界普遍联系及其整体性的思想，也就是系统思想。系统思想是辩证唯物主义的内容，绝不是国外一些人所说的那样是 20 世纪中叶的新发现和现代科学技术独有的创造。

当然，现代科学技术对于系统思想方法是有重大贡献的。第一个贡献在于使系统思想方法定量化，成为一套具有数学理论、能够定量处理系统各组成部分联系关系的科学方法；第二个贡献在于为定量化系统思想方法的实际应用提供了强有力的计算工具——电子计算机。这两大贡献都是在 20 世纪中期实现的。

社会实践活动的大型化和复杂化，要求系统思想方法不仅能定性，而且能定量。解决现代社会种种复杂的系统问题，对材料的定量要求越来越强烈，这尤其表现在军事活动中，因为战争中决策的成败关系到国家民族的生死存亡。第二次世界大战是定量化系统方法发展的里程碑。这次战争在方法和手段上的复杂程度较以往的战争有很大增长，交战双方都需要在强调全局观念、从全局出发合理使用局部、最终求得全局效果最佳的目标下，对所拟采取的措施和反措施进行精确的定量分析，才有希望在对策中取胜。这样一种强烈的需要，以极大的力量把一大批有才干的科学工作者吸引到拟订与评价战争计划、改进作战技术与军事装备使用方法的研究工作中，其结果就是定量化系统方法及强有力的计算工具电子计算机的出现，并成功地应用于作战分析。战后，定量化系统方法开始广泛地用来分析工程、经济、政治领域的大型复杂的系统问题。一旦取得了数学表达形式和计算工具，系统思想方法从一种哲学思维发展成为专门的科学。

现在我们把以上所说的再小结一下。恩格斯说：“思维既把相互联系的要素联合为一个统一体，同样也把意识的对象分解为它们的要素。没有分析就没有综合。”[8]系统思想是进行分析与综合的辩证思维工具，它在辩证唯物主义那里取得了哲学的表达形式，在运筹学和其他系统科学那里取得了定量的表述形式，在系统工程那里获得了丰富的实践内容。古代农事、工程、医药、天文方面的实践成就，建立在这些成就之上的古代中国和希腊朴素的唯物主义自然观（以抽象的思辨原则来代替自然现象的客观联系）；近代自然科学的兴起，由此产生的形而上学自然观（把自然界看作彼此隔离、彼此孤立、彼此不相依赖的各个事物或各个现象的偶然堆积）；19 世纪自然科学的伟大成就，以及建立在这一成就基础之上的辩证唯物主义自然观（以实验材料来说明自然界是有内部联系的统一整体，其中各个

[39]事物、现象是有机地相互联系、相互依赖、相互制约着的）；20 世纪中期现代科学技术的成就，为系统思维提供的定量方法和计算工具；这就是系统思想如何从经验到哲学到科学、从思辨到定性到定量的大致发展情况。

二

下面我们来讲讲系统工程，也就是处理系统的工程技术。

从 20 世纪 40 年代以来，国外对定量化系统思想方法的实际应用相继取了许多个不同的名称：运筹学（operations research），管理科学（management science）、系统工程（systems engineering）、系统分析（systems analysis）、系统研究（systems research），还有费用效果分析（cost effectiveness analysis）等等。他们所谓运筹学，指目的在于增加现有系统效率的分析工作；所谓管理科学，指大企业的经营管理技术；所谓系统工程，指设计新系统的科学方法；所谓系统分析，指对若干可供选择的执行特定任务的系统方案进行选择比较；如果上述选择比较着重在成本费用方面，即所谓费用效果分析；所谓系统研究，指拟制新系统的实现程序。现在看来，由于历史原因形成的这些不同名称，混淆了工程技术与其理论基础即技术科学的区别，用词不够妥当，认识也不够深刻。国外曾经有人试图给这些名词的涵义以精确区分，但未见取得成功。

用定量化的系统方法处理大型复杂系统的问题，无论是系统的组织建立，还是系统的经营管理，都可以统一地看成是工程实践。工程这个词 18 世纪在欧洲出现的时候，本来专指作战兵器的制造和执行服务于军事目的的工作。从后一涵义引申出一种更普遍的看法：把服务于特定目的的各项工作的总体称为工程，如水力工程、机械工程、土木工程、电力工程、电子工程、冶金工程、化学工程，等等。如果这个特定的目的是系统的组织建立或者是系统的经营管理，就可以统统看成是系统工程。国外称运筹学、管理科学、系统分析、系统研究以及费用效果分析的工程实践内容，均可以用系统的概念统一归入系统工程；国外所称运筹学、管理科学、系统分析、系统研究以及费用效果分析的数学理论和算法，可以统一地看成是运筹学。

在科学技术的体系结构[9]中，系统工程属于工程技术。正如工程技术各有专门一样，系统工程也还是一个总类名称。因体系性质不同，还可以再分为门类，如工程体系的系统工程叫工程系统工程，生产企业或企业体系的系统工程叫经济系统工程，国家行政机关体系的运转叫行政系统工程，科学技术研究工作的组织管理叫科研系统工程，打仗的组织指挥叫军事系统工程，后勤工作的组织管理叫后勤系统工程，计量体系的组织叫计量系统工程，质量保障体系的组织建立与管

理[40]叫质量保障系统工程，信息编码、传输、存贮、检索、读出显示系统的组织管理叫信息系统工程。系统工程不是一类系统的组织管理技术而是各类系统组织管理技术的总称。各类系统工程，作为工程技术的共同特点在于它们的实践性，即要强调对各类系统问题的应用，强调改造自然系统、创造社会生活各方面人所要的系统，强调实践效果。

在科学技术的体系结构中，工程技术的理论基础是技术科学。例如，水力工程的理论基础是水力学、水动力学、结构力学、材料力学、电工学等。什么技术科学是系统工程的共同理论基础呢？是运筹学。我们所说的运筹学，沿用的是第二次世界大战出现的名词运筹学，但在内容和范围上又有所区别。第二次世界大战时的运筹学，包含了一些我们今天所说的军事系统工程的内容，当时叫军事运筹学（military operations research）。我们今天所说的运筹学属于技术科学，不包括军事系统工程的内容，只包括系统工程的特有数学理论：线性规划、非线性规划、博弈论、排队论、库存论、决策论、搜索论等。除了运筹学，系统工程的共同理论基础还有计算科学。不仅各类系统工程有共同的理论基础，每门系统工程还有其特有的专业理论基础。工程系统工程特有的专业基础是工程设计，科研系统工程特有的专业基础是科学学，企业系统工程特有的专业基础是生产力经济学，信息系统工程特有的专业基础是信息科学和情报科学，军事系统工程特有的专业基础是军事科学，经济系统工程特有的专业基础是政治经济学，环境系统工程特有的专业基础是环境科学，等等。

控制论的奠基人维纳曾经说过:“把自然科学中的方法推广到人类学、社会学、经济学方面去，希望能在社会领域取得同样程度的胜利”，这是一种“过分的乐观”[10]。系统工程的现代发展，证明维纳在 1948 年的这番预言是保守的。系统工程在自然科学、工程技术与社会科学之间构筑了一座伟大的桥梁。现代数学理论和电子计算机技术，通过一大类新的工程技术——各类系统工程，为社会科学研究添加了极为有用的定量方法、模型方法、模拟实验方法和优化方法。系统工程应用于企业经济管理已成为现实，并将应用于更巨大的社会系统。系统工程为自然科学、工程技术工作者同社会科学工作者的合作，开辟了广阔的前景。我国系统工程工作者与社会科学工作者合作，已经在全面质量管理、人口控制计划管理方面取得了可喜的成绩。

马克思说:“一切规模较大的直接社会劳动或共同劳动，都或多或少地需要指挥，以协调个人的活动，并执行生产总体的运动——不同于这一总体的独立器官——所产生的各种一般职能”[11]。社会主义社会具有高度的组织结构，共同劳动的组织程度和规模远较马克思时代高得多、大得多。任何一种社会活动都形成一

种系统，复杂的系统几乎无所不在。每一类系统的组织建立、经营运转，就成为[41]一项系统工程；组织管理社会主义建设的技术就是社会系统工程，简称社会工程[12]。各类系统工程可以解决的问题，涉及整个社会。领导艺术是一种离开数学领域的才能，它能从大量事物的复杂关系中判断出最重要最有决定意义的东西。实现四个现代化，是极其伟大的社会工程。领导这一工程的任何决策，不仅需要领导艺术，更需要领导科学；不仅需要定性的材料，更需要定量的材料。用科学方法产生这些定量材料，并提供领导抉择参考，是我国现代化建设必不可少的一个专门行业。这个行业，是为国民经济建设各级领导机关特别是中央一级机关当参谋的。这个行业所从事的科学研究活动，是综合利用自然科学、社会科学、工程技术特别是系统工程，为国民经济建设的重大抉择问题提出可供选择的方案。我国社会主义社会对于系统工程的需要，犹如 19 世纪中叶资本主义社会对于工程技术的需要一样。那时，因为自然科学的发展，使千百年来人类改造自然的手艺上升成为有理论的科学，出现了工程技术。由于资本主义社会对工程技术的自觉应用，从而爆发了一场生产力发展的大变革。今天，系统工程的自觉应用将对我国社会生产力的发展产生变革作用。这或迟或早成为现实，取决于我们的认识。

三

下面我再讲讲系统工程工作在我国的发展。

运筹学在我国的发展始于 1955 年。那时，这样一个认识已经形成：我国有计划按比例的经济建设十分需要运筹学。1956 年，在中国科学院力学研究所建立了我国第一运筹学研究组；1960 年底，中国科学院力学研究所与中国科学院数学研究所的两个运筹学研究室合并成为数学研究所的运筹学研究室。华罗庚教授从 60 年代初期起在我国大力推广“统筹法”，而取得显著成就；在这同时，随着国防尖端技术科研工作的发展，我国在工程系统的总体设计组织方面也取得了丰富的实践经验。1966 年至 1976 年，我国发生了十年动乱，也就说不上在这方面还能存在什么发展。粉碎“四人帮”后，系统工程的推广应用出现了新局面，1978 年 5 月中国航空学会在北京召开了军事运筹学学术会议。1978 年 9 月，我国科技工作者提出了利用系统思想把运筹学和管理科学统一起来的见解，提出了系统工程是组织管理技术的思想，1979 年 6 月，中国管理现代化研究会在天津召开了系统工程学术交流会；1979 年 7 月，中国自动化学会在芜湖召开了系统工程学术讨论会；1979 年 10 月，中国科学院，教育部，社会科学院，一、二、三、四、五、六、七、八机部，总参，总后，军事科学院，军事学院，国防科委和军兵种的 150 名代表，在北京举行了系统工程学术讨论会，国务院副总理耿飙、王震，总参副总

长张爱萍、李达，以及各有关部门领导同志十余人，出席了这次讨论会的开幕式，体现了党和政府对系统[42]工程在四化建设中作用的重视。这次会上我国 21 名知名科学家联合向中国科协倡议成立中国系统工程学会。西安交通大学、清华大学、天津大学、华中工学院、上海交通大学、大连工学院、上海化工学院、上海机械学院、哈尔滨工业大学、北京工业学院、国防科技大学相继成立了系统工程的研究室、研究所或系；上海机械学院和国防科技大学已招收系统工程专业的本科生。中国航空学会举办了系统工程和运筹学讨论班；中国自动化学会成立了系统工程专业组。1980 年 2 月 26 日，中国科学院系统科学研究所举行了成立大会，方毅副总理和中国科学院领导到会表示热烈祝贺。1980 年 3 月 22 日，包括西安地区国防工业系统、高等院校与工交财贸系统 70 余名会员的西安系统工程学会成立。1980 年下半年，中央人民广播电台将首次举办全国性的系统工程广播讲座，由 9 位知名科学家播讲。现在，全国科协和中央电视台又联合举办这次系统工程电视讲座，内容包括系统工程基本概念及系统工程在四化建设中的应用、系统工程方法、系统工程理论基础和系统工程人才培养等四个方面，全部讲座由中国自动化学会、中国航空学会、中国铁道学会和中国系统工程学会共同承担。我国科技工作者已经认识到：系统工程同现代化建设各个领域的组织管理工作是紧密联系在一起的。他们已着手进行实验，将系统工程应用于工程计划的协调与平衡、工业企业全面质量管理、人口控制计划以及军事装备的规划。以上这一系列活动表明，我国科技工作者对系统工程的应用是有认识的，他们正在作出实际努力！我们希望中央电视台的这一系列广播能进一步推动系统工程在我国的发展，为我国社会主义的四个现代化做出贡献。

本文是钱学森同志 1980 年在中央电视台系统工程讲座的讲稿。原载中国科协普及部《系统工程普及讲座汇编》(上)。

参考文献

[1] 《马克思恩格斯选集》，第三卷，第 182 页。
[2] 《老子》，第二十五章。
[3] 见任继愈主编：《中国哲学史》，第三册，第 273 页。
[4] 《马克思恩格斯选集》，第三卷，第 468 页。
[5] 《马克思恩格斯选集》，第三卷，第 468 页。
[6] 《路得维希•费尔巴哈和德国古典哲学的终结》，《马克思恩格斯选集》，第四卷，第 241 页。
[7] 同上。
[8] 《反杜林论》，《马克思恩格斯选集》，第三卷，第 81 页。

[9] 钱学森：“大力发展系统工程，尽早建立系统科学体系”，《光明日报》，1979 年 11 月 10 日。
[10] 维纳：《控制论》，科学出版社，第 162～163 页。
[11] 《马克思恩格斯全集》，第二十三卷，第 362～363 页。
[12] 钱学森、乌家培：《组织管理社会主义建设技术——社会工程》，《经济管理》，1979 年第 1 期。

情报资料、图书、文献和档案工作的现代化及其影响

钱学森

毛主席曾在1969年精辟地指出技术革命不同于技术革新，技术革命是指技术上的巨大变革，它对生产力的发展以及对整个社会带来重大的影响；毛主席还举了三项技术革命的事例，即18世纪的蒸汽机、19世纪的电力和20世纪的核能。我们根据这个非常明确而严密的技术革命概念，提出电子计算机也是一项技术革命，因为电子计算机不但大大推动了生产自动化，而且在广泛的领域内电子计算机代替了人的一部分脑力劳动，以致对现代社会发生了深刻的影响。对这样一个认识，有的同志同意，也有些同志表示怀疑；还有少数同志强烈地反对。但事情总是越辩越明的，应该欢迎怀疑的人、反对电子计算机是技术革命的人，他们可以促使认识深化。

本文是讲情报资料、图书、文献和档案工作现代化的，但也可以进一步说明电子计算机是毛主席所说的技术革命，因为在这方面即将到来的变革是伟大的，深远的。这里提出的有些观点并不成熟，写出来请大家讨论，以便弄清这个方面现代化带来的影响。

一

人是通过实践认识客观世界的，首先是感性认识，然后再上升到理性认识。但在人还没有发展语言这个工具时，一个人的认识也只有随他个人的死亡而消失，无法累积。当人类有了语言，就使得一个人的认识可以转递给另一个人，实践经验和由此而来的对客观世界的认识就免得因人而去，得以保留，得以累积。后来又发明了文字，发明了纸，发明了印刷技术，这些都被认为是人类发展史上的大事，因为他们大大方便了、加速了人类经验以及知识的累积，创立了越来越丰富的人类精神财富。

图书、资料和文献的积累是随着人类脑力劳动量的增长而不断加速的。在古代，一个箱子就差不多把书籍都装下了，到了后来，我们的前人早有汗牛充栋之叹。及至本世纪，图书、文献、资料，还有档案，更是飞速地累积着，简直可以说是[45]爆炸性的。我们仅以科学技术文献中的一小部分——化学文献为例，光

是浏览一下世界上一年内发表的有关化学的论文和著作，一位化学家每周看 40 小时，要读 48 年。这就清楚地说明要像过去那样，一位学者、作家完全靠自己去查所需的图书、资料，搞“单干户”的工作方式，已是不太可能的了。你要查图书、资料，你就没有时间搞研究、搞创作；你要搞研究、搞创作，你就没有时间查图书、资料。

一个人搞不来，就要求社会分工，于是产生了一种新的职业，这在科学技术界叫情报工作者或情报专家，在图书馆叫图书馆工作者或图书馆专家，在档案馆叫档案员或档案专家。这是一个近代社会的行业。我们自建国以来，国家十分重视情报资料、图书、文献和档案工作，全国已有一直分布到边远地区的各类专业单位。并且组建了一支数量相当大和具有一定水平的专业队伍。

但总的来说，我们在这方面的工作离现代化还很远。就以科学技术的情报资料工作而论，我们直到现在的一个大问题就是科学技术人员往往不能直接使用外文资料，要靠情报资料人员把外文译成汉文。所以我们的科技情报工作队伍中有相当一部分是译员，即能译科技专业文献的外文翻译。我们的又一个问题是缺乏复制设备，因为我国至今还没有一个部门主管复印机的科研与生产。每年虽然花了不少外汇进口科技图书，但对要用它的人来说，还是“凤毛麟角”，弄不到手。这就使得科技情报人员辛苦地发扬背篓商店精神，送“货”上门；在交通不便地区，硬是把文献资料放在背篓里，跋山涉水，送到科技人员手里。还有一个问题就是科技情报工作，部门分隔，地区分隔，消息不通，各自为政。这就导致工作重复，一篇重要科技文献，你也译，我也译；你也印发，我也印发，把本来不足的力量又浪费了不少。

科技情报资料工作的落后状况也代表了其他方面，所以情报资料、图书、文献和档案工作的现代化是势在必行的了，不然我国虽有这些不怕苦、不怕累、不怕死的情报资料、图书、文献和档案人员，工作还是跟不上加速实现四个现代化的需要。

二

什么叫情报资料、图书、文献和档案工作现代化？我们先从具体工作讲起，然后再讲如何组织全国的工作，以及和全世界的工作协同起来。

对情报资料、图书、文献和档案来说，也许第一个问题是收集的问题。但是，这个问题在建立了无所不包括、没有任何检索查看阻碍的情况下，可以自然解决，用不着我们担心查不到所要的图书、文件。

第二个问题是情报资料、图书、文献和档案的内容，也就是材料的存储或存

储[46]技术。其实用脑子记是存储，写在纸上是存储，印成文件、书刊也还是存储。这些古老的存储方法有个优点，就是读取很直接，不需要其他辅助设备。但它们也有一个共同的缺点，就是存储的密度太低，存储物质量太大，从前还不过是“汗牛充栋”，现在则是一列火车也装不下，一所大楼也容不下。解决的办法就只能放弃直接阅读，用光电设备，同时设法大大增加信息存储的密集度。一类技术是用摄影，把一页纸面缩小为一颗豆粒大小的胶片面积，进一步再把几十页纸面的内容缩小为一颗豆粒大小的胶片面积。现在的缩微胶片，已能在 105×148 毫米的胶片上录下 3 200 页 16 开的印刷品。另一类技术是用磁带记录，这我们大家都很熟悉，一卷 360 米长的磁带一般可以录 40 分钟的讲话，即大约 6 000 字。但这是比较低的密度，高密度的磁带技术可以在半个手掌大的一卷磁带上，录下一个人一天讲 8 小时，讲 250 天的内容。这些新的信息存储技术比起古老的办法，其所需存储物质量，就可以成千上万倍地缩减，一个大楼的库存可以缩小到一个柜子就放下了。

但这还不是极限，我们现在只不过把记录单元缩小到微米大小，将来电子技术再发展，还可以把记录单元缩小到原子尺寸，即埃的尺寸，再小一万倍。到那一步，存储物质量将再比现在缩小几亿倍以上。所以一旦我们不要求直接阅读，存储技术就可以大踏步地发展，我们现在只是迈出几小步，更大的变革还在将来。

既然放弃直接阅读，就要有一种装置把记录在存储物质上的内容显示出来，让人能阅读。显示也包括翻译，因为存储记录可能是编码的，不能让人直接读编码，要译成语言、文字或图像。这种装置就是通常所说的“终端”，实际上它是具有各种电子控制的彩色显像管，是彩色电视接收机一类的电子设备。它往往有打字和控制用的键盘，也有一个与存储库通话的电话。要阅读的情报资料、图书、文献和档案就在显像管上显示出来，也可以接上复制机，制成文件。这方面的问题可以归纳为第三个问题，即终端技术。

现在讲情报资料、图书、文献和档案工作现代化的第四个问题，也是核心问题，不解决它，现代化就行不通。这就是检索问题。因为尽管存储问题解决了，如果还是老办法通过终端把库存一项一项、一件一件调出来查阅，前面讲的 1 年出版的化学文献要查看 48 年的矛盾还是无法解决。但是，电子计算机的出现为我们提供了自动化检索的可能，因为一旦制订了电子计算机检索时机器工作的方法和程序，电子计算机的速度可以比人快上千万倍。这样，查看 1 年中发表的化学文献就不要 48 年了，只用不到 1 分钟就行了。所谓方法和程序就是情报资料、图书、文献和档案存储库内容的组织，即每一件材料的编码，库存的排列，计算机工作时查编码的程序，以及提取内容的程序。这一套已经成为一门专门的科学技

术，叫检索技术。

现行的电子计算机检索制度是当工作人员在终端上与信息库接通后，要求某[47]一方面的材料，电子计算机按预定程序工作后，在终端上先显示出材料的题目；工作人员可以选其中若干项，第二步电子计算机再调出选定项目的提要，再在终端上显示；工作人员可以就此满足，或再进一步要那一项文件的详细摘要，再在终端上显示。最后工作人员也可以要附设于终端的复制机，制出材料的复制件。一般整个上述过程只要几分钟到十几分钟。

现代化的最后一个问题是通信问题或通信技术。情报资料、图书、文献和档案的存储库是一个投资项目，不可能谁人都有，必须设于中心地点；电子计算机也是一个投资项目，也只能放在中心地点。而终端又必须在使用者身旁才方便，这就要有从终端到电子计算机、到中心库的通信线路。通信线路把终端、电子计算机和存储库组成一个体系，这个体系就是情报资料、图书、文献和档案的自动化体系。前面已经说过，存储技术还有很大的潜力，还可以大大提高，自动化体系中其他两门技术，电子计算机的检索技术和通信技术也同样可以大大发展，所以现代化情报资料、图书、文献和档案体系还可以进一步发展，承担起比现在能想到的还要大得多的工作。

三

虽然上述以电子计算机检索为核心的自动化体系出现也不过十几年，但目前已风起云涌，发展十分迅速；有的是专业化的，以某一特定领域为界限的，如化学文献；也有以某一单位的业务为界限的，如美国《纽约时报》的资料库；也有以某一社会活动为范围的，如零售商情等等。因为本来情报资料、图书、文献和档案中的绝大部分是没有国家界限的，各搞各自的，会造成重复，所以自然而然地出现国际的联系。西欧国家就是如此，某一个国家的工作人员可以通过体系的通信网去凋看另一个国家存储库的材料。由此看来沟通全世界，形成一个全球性的体系是大势所趋。这里首先出现一个标准化的问题，即检索用的编码要标准化，不然国与园之间，甚至存储库与存储库之间不统一，不便使用。至于人类语言的标准化恐怕不是短时间内能实现的，所以我们为了能充分使用情报资料、图书、文献和档案的自动化体系就应该多学几门外文；学外文应该成为教育的一个重要内容。当然，将来终端技术有了发展时，终端可以自动地把外文翻译出来。

对我国来说，汉字的编码是个必须抓紧解决的问题。对此，我国科学技术情报工作人员早已重视。已开过多次会议研究，但因汉字结构自成一格，没有可资参考的树料，大家各抒己见，提出的方案不下数十种，有的直接用拉丁字母拼音，

有的用汉字笔画，有的用字形号码，有的用形旁声旁等等，还定不下来。因为汉字编码又涉及到将来汉字的自动化打字，汉文的自动化排字，从而更进而涉及到汉[48]字的简化，这是一个很复杂而又十分重要的问题，一旦定案，就不宜轻易改动，是百年大计。最好要由国家召集各有关方面共同研究，不能只靠科学技术情报工作者来选定汉字编码方案。

既然要参加世界网，那就有一个参加什么的问题，总有一些是我国地区性的，不必参加世界交流的。这个界限分清后，才好搞编码，搞存储库的安排。在此基础上，我们要搞国家情报资料、图书、文献和档案体系的设计或规划，建什么样的存储库，设什么样的电子计算机，以及通信线路的建设，终端的大体数目等。而这一切又必须同已有的老的设施，诺如图书馆等以及世界的体系衔接起来。这是一个庞大的“系统”，它的设计、规划、建设和运转，以及逐步改进将是一件大事，是一种系统工程[1]工作。从系统工程的技术角度来看，情报资料、图书、文献和档案都是一种“信息”，这种系统工程的目的就是信息的存储、信息的检索和提取，信息的传输和信息的显示，所以这整个技术可以称为信息系统工程。

为了建立这个现代化的信息系统或信息体系，我们一定要逐步发展我国的某些工业，如存储材料工业、终端工业、复制机工业等；也要培养“信息科学技术”的专门人才；现有的图书馆、档案馆、情报资料单位的工作人员还必须培训和学习这门新技术。他们是信息专家或信息工程师，是信息体系的建设者，也是使用中的向导和顾问。

在打好我国基础后，我们要考虑参加全世界的信息体系。世界信息体系所要的通信道，看来最宜用通信卫星，它信道质量好，通信距离远，建设费用低。也可能是这个原因，有人称航天技术的当前阶段为航天信息技术时代。

四

当我们讨论了建立现代化的情报资料、图书、文献和档案信息体系之后，让我们想一想这将是多大的一个变化。向来人自一生下来，都在用脑子记住以往人类和自己社会实践的经验和由此而产生的知识。对一个脑力劳动者来说更是如此。古人夸一个学者，说他博学强记，可见在脑子里记住学问的重要性。但一个人记得住的东西虽有不同，有人多些，有人少些，但总有限，比起人类千百年累积的知识量，不过沧海之一粟，所以前人也说皓头穷经。但在将来，我们将从这一繁重的脑力劳动中彻底解放出来：查阅材料可以做到如同自己脑子记住它一样便捷，那就不要去费脑子记了，要时用终端就是了。

我们再深思一步：什么是情报资料、图书、文献和档案？它包括不包括文学？

当然包括。它包括不包括绘画？也包括。它也包括音乐乐谱、录音、包括录像……它也包括文物档案。甚至通过全息摄影，它也可以包括造形美术，如雕塑等。[49] 那么，我们所设计的信息体系简直可以包括全部人类千百年来创造的、而且还在不断创造的精神财富[2]。而这全部精神财富可以由我们每一个人随手调用和享受。这不但是从旧的脑力劳动中解放出来，而且是获得了一个伟大的新世界，从来未有的高度文化的新世界。难道这不是天翻地覆的变化！

脑子不要花在记忆上了，那脑子还干什么？从繁重性记忆脑力劳动解放出来的人，将有可能把智慧集中到整理人类的知识，全面考察，融会贯通，从而能搞更多更高的创造性脑力劳动。人将变得更为聪明，人类的前进步伐更将加快。

这一变化也将使传统的教育制度发生根本的变化，学习内容不同了，除了掌握好语言文字和外文，重点将是整体，不是枝节，学是要学好基础，学科学技术的体系[3]，学自然科学的体系，学社会科学的体系，学哲学，这是理论学习。另一方面是运用这些理论的技巧或手艺，这包括脑力劳动和体力劳动，这也是必要的，不然我们还是不会改造客观世界，只能空谈，不务实际了。但我们看得出来，脑力劳动和体力劳动的差别将大大缩小，趋于消亡。这就是现代化情报资料、图书、文献和档案信息体系所带来的影响，以及它的进一步发展所显示的前景。恩格斯说过：“摆脱了资本主义生产的框框的社会”，能“造就全面发展的一代生产者，他们懂得整个工业生产的科学基础，而且其中每一个人都从头到尾地实际阅历过整整一系列生产部门，所以这样的社会将创造新的生产力”[4]。所以这个前景就是走向共产主义。

触发这一伟大变革的，仍然是电子计算机。这样看来，难道电子计算机不是毛主席讲的能与蒸汽机、电力和核能并列的一项技术革命吗？

原载《科技情报工作》，1979 年第 7 期。

参考文献及注释

[1] 钱学森、许国志、王寿云：《组织管理的技术——系统工程》，《文汇报》，1978 年 9 月 27 日。

[2] 在国外，有人称情报资料为“人类的第二资源”。这是强调了情报资料的重要性，但按中国话的习惯，这是不妥当的。我们还是用“人类精神财富”这个词。

[3] 钱学森：《科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学》《哲学研究》，1979 年 1 月号，20～27 页。

[4] 恩格斯《反杜林论》，《马克思恩格斯选集》，人民出版社，1972 年，第三卷，335～336 页。

论科学技术研究的组织管理与科研系统工程

钱学森

我们都知道科学技术现代化是四个现代化的关键，而要科学技术现代化又必须大大提高我们组织管理科学技术工作的水平。关于这个问题我在 16 年前也有一篇文字[1]着重讲了科学技术研究或研制单位内部的组织管理问题。但现在看来，那里的一些概念还不够清楚，而且当时我也没有涉及更大范围，以至全国性的科技组织管理问题。我现在认为科学技术的组织管理工作正如其他组织管理工作一样，是要运用系统工程[2]的；说是工程，就是要强调实于，取得实际效果，不是光研究学问。

在这篇文字里我想谈谈我现在关于这个问题的意见，也就是科学技术研究的组织管理，有关的系统工程，特别是科学技术研究的系统工程（以下简称科研系统工程），它的内容与方法，为的是抛砖引玉，请大家批评讨论，以求更好地解决这个重要问题。

一

首先要问：既然科学技术研究的组织管理是一门工程技术，是系统工程，那么什么是搞这门工程技术的理论呢？我们讲过一切系统工程的专业都要用运筹学这门技术科学[3]，我也讲过科研的组织管理还特别要靠科学学[3, 4]这门专研究科学技术研究这一社会活动的社会科学。前者是各门系统工程的方法理论，后者是有关科研组织管理的方针、政策的理论指导，当然在系统工程的具体工作中，我们还要靠现代化计算工具电子计算机。这些情况在本文后面还要谈到，但在这里我们要强调系统工程是技术，它是在方针政策决定以后搞组织实施的，它本身不包括科学技术研究的方针政策的制订。

制订我国科学技术工作的方针、政策要靠科学学，因为科学学能说明科学技术工作和生产力发展的关系，能阐述科学技术本身发展的趋向，能给出世界不同类型国家科学技术工作的不同性质和其费用占工农业总产值的比例等等，这些特别是科学学的两大分科，政治科学学和科学体系学[4]所要解决和回答的。不解决

[51]这些问题，我们在科学技术现代化的道路上就不能高瞻远瞩，不能下决心，从而耽误大事。另一方面由于科学技术工作的连续性，科研方针、政策的制订还要有长远考虑，还必须向前看几十年，看到21世纪，不然也制订不好计划、规划。这就又涉及到男一门新兴的社会科学，未来学[5，6]。例如我们[7]曾根据未来学预测说，到21世纪，我国大约10亿人口中将有近2亿人是直接从事科学技术工作和从事组织管理工作的，也就是说科学技术工作将比现在增长几十倍。不看到这个前景，我们怎么能制订正确的方针、政策呢？

但制订我国科学技术的方针、政策还要考虑更大范围的问题，它是国家的重大决策，必须由党中央和国家领导来定。下面我们就专说在科学技术方针、政策决定之后，如何组织实施的问题。

二

我们要看到：严格说来，也不是一切组织实施的问题都是有关科研的系统工程的问题。例如科学技术的研究工作要有大量优秀的科学技术人员，包括自然科学工作者、教学工作者、还有搞技术科学的和工程师、技术人员，以及社会科学工作者、哲学工作者，所以培养人才是组织实施的一个重要方面。但就工作体系来说，从系统来说，那是属于教育的体系，教育的系统，我们把其组织管理称为又一门系统工程，即教育系统工程[8]。当然这里有交叉，因为特别在高等院校，它们一方面是教育单位，是教育工作的系统，但它们又同时是科学技术研究的一个方面军。我想以系统概念来说，一所高等院校是一个比较完整的系统，不能硬划分为一个教育系统，一个科研系统，教学与科研要结合，搞科研是为了真正搞好教学，提高学生质量。所以高等院校的组织管理应该作为一门教育系统工程来处理。从这个角度看，现在流行的所谓“两个中心”论，是否妥当？值得研究。但在考虑全国或地区的科学技术工作时，又要把有关高等院校的科研工作纳入科研系统，统一安排，这是很重要的，不这样，把高等院校的科研排除在整个科研体系之外，就不能真正发挥高等院校这一方面军的作用。

对科学技术研究就其不同性质可以分成几类，有许多说法，但大体上还是一致的，从基础研究到新产品的设计、试制划分为若干阶段，有的多分几步，有的少分几步。我们可以采用罗林同志[9]的分法：第一类，基础研究。以认识客观现象、探索客观世界的规律为主要目的，一般没有明确的应用目标，或没有明确的直接目标，但对科学发展和技术革命有普遍而深远的影响。第二类，应用基础研究。针对生产或改造客观世界中提出的问题，进行基础和理论研究，为实际问题的解决提供理论依据和基本资料。第三类，应用研究。直接解决生产和改造客观

世界[52]中的实际科学技术问题，如在实验室创造和研制新产品、新技术、新方法，新流程等或提出经济体制的新组织方案。第四类，“型号研制”，或推广研究。例如把实验室成果进一步扩大，进行工业性中间试验、定型设计、小批量生产或大田试验；或研制一粱新飞机；或造一台巨型电子计算机体系。当然这四类科学技术研究是有关联的，前一类研究的结果也是后一类研究的依据和指导，反过来，后一类研究又不断为前一类研究提出新的课题和提供赖以总结提高的实践基础。

但这四类科学技术研究在人力、物力的分配上是不均等的。根据统计资料和我国的实践，第四类“型号研制”和推广研究占用了科研经费和科研人力的大部分，大约是 60%。原因就是真正搞出东西来，与研究工作毕竟不相同，尤其现代化的产品是复杂的，一架新飞机、一条新型船舰的研制费用都以若干亿元计。也就是因为这个原故，搞这类科学技术工作不能轻易下决心，而一定要在前三类科研工作的基础上，做到确有把握才能开始；而一经开始，就要千方百计地把复杂的工作进度协调好，把各部分的性能协调好，力求早日拿出好的最终产品。这是一项偶然因素已经降低到最小，而总体设计工作十分繁重的技术工作。近年来这一类工程技术已经成为一门系统工程，叫做工程系统工程[2]，它有一套比较成熟的工作方法，成为独立的一个系统工程专业了。所以我们在这里要讲清楚，我们讲的科研系统工程不能包括第四类科研的具体内容，那是工程系统工程，不然就混淆了不同性质的工作了。当然，四类科研又是互相连接的，我们在考虑前三类科研的组织管理问题时，必须考虑到还有这类分量狠重的第四类科研。

三

我们现在要进一步把科研组织管理工作具体化，这首先要对现代科学技术工作有一个概括的认识。什么是现代科学技术不同于以前的，例如 100 多年前的突出特点中我们比较容易地看到它规模之大的确空前，无论从科学技术人员之多或每年经费之大来看，都是如此。例如美国在当前财政年度准备花在科学技术研究（包括全部四类科研）上的钱共 525 亿美元；苏联也不会少。但规模大并不是说仅仅把 100 多年前的科学技术组织方式照样搬来，只是把组织单位机械地重复增加而已；更重要的是组织结构有了很大的变化，社会化了[9]。也就是科学技术研究工作不是旧时代小炉匠、单干户的方式，不是一位科学家带几个助手，自立门户，从制造仪器、设备，做实验，分析计算，到总结理论，全部包下来。科学研究已经变为社会分工很细、专业化很强的工作了；有专门设计制造仪器、设备的，有专门做例行分析、测验的，有专门管仪器的标定校正的，有专门搞复杂分析计算的，甚至文件图表的印刷复制也成了专业。一项研究工作的直接参与者就可能

有几百人、[53]上千人或更多，更不要说辅助工作的人员了。这就是现代科学技术工作的社会化，它是现代科学技术工作的复杂性和规模庞大所引起的，是千百年来人类社会活动经验的总结的一个应用。一句话：社会化是科学技术现代化的不可抗拒的变革。当然，社会化并不排除个人的才智和努力，恰恰相反，在今天的条件下，个人只有在一个有效地组织起来的集体中才能充分发挥他的潜力。

我们也要看到：客观事物虽然推动科学技术工作社会化，但它却遇到了习惯势力的阻力。在资本主义国家，社会化与资本主义私有制的矛盾是不可克服的。本来一项研究不可能归功于某一个人，也非归一个人独占，这怎么能充分调动科技队伍的积极性呢？在他们那里也还有一个意识形态的问题。在资本主义兴起时，当时在反对教会封建势力中超过积极作用的“学术自由”口号，现在还一直深深藏在科学家的头脑中，它固然对发扬学术民主有好处，但另一面这个口号也妨碍着把科学技术研究组织起来，纳入统一的调度计划。这些问题在他们那里是注定解决不了的，也是他们科学技术进展中的死症。

在我们国家里，也有我们的问题。五届人大二次会议的政府工作报告中讲到：“在人民内部，资产阶级意识形态和封建阶级意识形态的影响也还将长期存在，针对这些影响还必须进行长期的斗争和教育”。由于这个原因，现在也有些同志对科学技术工作社会化总不太欢迎，喜欢搞“小而全”，自成一摊，对人家说他单干，很反感。也有的人，对自己领域内工作方式落后，而成为一人孤胆攀高峰，反而很庆幸，还打算把这件“古董”保留下来。而我们的科研单位领导人中也确有那么一些还未从小农经济的思想束缚中解脱出来，热衷于自立门户，老死不相往来，对他们来说，研究情况和人员的交流都是禁忌。我们对这些同志，要耐心做工作。要看到，虽有这些问题，但这是人民内部问题，决不能操之过急；而且在社会主义制度下，问题总会逐渐解决，四个现代化的强大推动力，终究能把历史遗留下来的陈渣涤荡干净。

有了这个大方向，我国科学技术研究工作的组织管理一定要毫不动摇地建立在社会化的基点上，至于因此而引起的问题，个别问题个别解决，不能影响大局。

四

根据科学技术工作的社会化分工，我们应该建立哪些专业部门呢？也许首先要解决的是仪器、专用设备工业的问题；赵红洲同志的文章[3]很突出地讲了这个问题，指出这是社会科学能力的一个重要组成部分。对我国来说，这是一个薄弱部门，还没有一个统一主管部门，力量分散，工作效率低，精密设备靠进口。这一状况，必须迅速改变。在有了仪器设备之后，还有个提高使用效率的问题。要

社[54]会化就是要大型设备、精密设备公有共用，不能归一家独占，要尽量做到 24 小时不断使用。为此，我们就应该把群众创造的协作使用方式固定下来，制订规章，加以推广。也可以考虑国外习惯的另一种测试专业企业方式，也就是在一个地区成立科学技术分析测试中心，该中心投资购置设备，接收各科研单位的试验任务，保证讲明的精度，按工作收费。总之，我们的科学技术组织中要有强大的仪器设备工业部门和使用服务网点。

另一个服务工作是科研的元件、器材的供应。我们现行的制度是大约需要提前半年到一年签订货合同，到时才能拿到东西。对科学技术研究工作来说，很难在一年前预见得那么准。所以就产生有时到了货用不上，造成积压的现象；有时又临时急用，无法得到。要解决这个问题，提高科研物资的使用效率，一定要扩大、加强科研器材商业网，急需物资可以临时选购；而商店是根据一个时期一个地区的情况进货的，可以互通有无，减少积压。就是说要搞科技服务商业。

科研工作中的复印工作量很大，一定要有我国自己制造的高质量复印机，要有主管部门。

出版印刷在科学技术工作中也非常重要，我们一定要组织好。这也要统筹规划，力求避免出版同一性质的刊物或内容基本相同的书籍。

我们国家十分重视计量和标准工作, 这是正确的；没有完善的计量和标准工作，科研工作是无法进行的。为此我国分别成立了国家计量总局和国家标准总局。值得指出的是：计量和标准都是全国以至全世界统一的，因此它们要在全国范围以至全世界范围单独形成一个体系，计量系统和标准系统。所以这两个系统的设计、组建、运转执行都是系统工程的专业, 一个是依靠计量学的计量系统工程，一个是依靠标准学[10]的标准系统工程。它们也是科学技术组织管理工作中的一部分。

情报资料、图书、文献和档案工作在我国科学技术工作中是比较落后的，尽管这方面的工作人员做了最大的努力，还远远不能满足要求。其实它是现代科学技术中社会分工的一个专门行业。从前查文献看资料都是科学研究工作者自己去找，但是现在情报资料、图书、文献和档案数量太大，一个人按老办法干，实在完不成。幸而出现了电子计算机和其他电子技术的发展，使得自动化的检索成为现实，不但一个城市，大到一个国家，甚至打破国界，实现世界范围的检索，在一地去查另一个国家的一个资料库的材料都是可能的[11]。这就形成了又一门在科学技术组织管理中的系统工程，即情报情息系统工程。

运用情报信息系统工程建起来的情报网，可以使同一个系统也包括电子计算机的网络。使用电子计算机的人可以远离电予计算机而工作。这将大大提高计算机的使用效率，也为多机并联运算开辟了道路，这对科学技术的高速发展也将[55]

产生重大影响。可以说计算机化是科学技术现代化所必需的。

从以上的论述来看，为了使科学技术现代化，组织管理好科学技术工作，我们要组建新的工业设置新的管理部门。我们还要发展三门新的系统工程：计量系统工程、标准系统工程和情报信息系统工程；这些都是科学技术能力的形成方面的问题，因而其理论基础是科学学的另一个分支科学能力学[3,4]。但这些都还不是科研系统工程本身。这说明现代科学技术的复杂性和实现科学技术现代化任务的艰巨性。

五

在上面几节中阐述了科学技术研究中组织管理的外围工作后，我们可以来讨论它的中心问题了，也就是科学技术研究的规划、设计的制订，研究工作的具体组织管理，工作的计划协调、调整，以及人力、物力的调度、指挥。我想这才是科研系统工程。

为了讨论这个问题，我们必须再次强调科研系统工程不同于工程系统工程，它的工作对象是基础研究、应用基础研究和应用研究。因而探索性很强，它是探索我们还不知道的、不认说的，或还大部分不知道的、大部分不认识的客观事物，包括自然界的或社会的。这样就在工作规划计划中对工作对象不完全掌握的情况，这些不掌握的工作对象要在研究实践中逐步掌握，而一旦全部掌握了，研究工作也就完成了。所以科研系统工程免不了要猜，可能猜对，也可能猜错。猜错了当然要受损失。

为了尽量猜得对一些，一个好办法是多征求有关同志的意见，俗话说三个臭皮匠合成一个诸葛亮。这就是国外称为专家咨询制度，这是一项非常重要的制度，有一件研究工作该不该搞：是大搞、小搞？什么规模？如何搞，什么途径？等等，这都要找懂行的专家问问。在我国，我们还可以搞得更好一些，连有这方面经验的工人、农民或一般群众的意见也要尊重，实践出真知嘛。来自各方面的意见，当然不会一致，顶多是大部倾向相同，而也有完全与这个倾向相反的意见，这又怎么办？如何调整归纳？在外国有那么一些人他们按政治民意测验发展起来的方法，说是要力求避免提意见人的相互影响，以求得独创之见。有什么德尔菲法，交互作用矩阵法，杜佩林-戈蒂特法[12]等等。我认为对这些形式上的统计要持慎重态度，因为它往往引人入歧途。何以见得？国外民意测验的可信度并不那么高，这总是大家知道的。所以我想还是我们党在长期革命斗争中创造的调查研究方法为好：也就是不但要听一个人的意见，而且要了解提建议人的工作经验，思想背景，要能听出他还没有在言词中表达的东西，要用唯物辩证法。[56]

这一步广泛征求意见和整理意见是科研系统工程的一道重要工序。干这件事当然要求有广泛的科学技术知识，懂得科技发展史，而且一定要了解科技人员，了解群众．这也是培养科研系统工程人员的一个要求。

我们国家征求意见的途径是很多的，国家科委就设有各种专业小组和各学科的学科组，它们是由各方面的专家组成的；中国科学院的学部委员也是提出意见的重要集体；还有中国社会科学院；全国科学技术协会和各专门学会、研究会联系广泛的科学技术工作者，也是很好的途径；各部、委也有数量很多的科学技术工作者，例如教育部就联系着许多高等院校的科学技术教师，又是一个渠道。当然我们国家还有人民来信这个广泛听取意见的途径。所以问题不在于缺少渠道，也不在于科学技术工作者不提建议，问题在于如何把所有这些建议和意见逐条逐项存入自动化的情报信息库，随时可以提取出来供分析研究，而不是把好意见埋没在档案堆中。

六

由于科学技术研究的上述探索性，征求意见之所得，终归有局限性，充其量不过是可供参考，可能部分准确。在科学技术史上，知名的大科学家、大工程师就在自己本行中作的预测，也不乏完全猜错的事例。这不能怪科学家或工程师，他们不可能是神仙，未知的东西只能在实践中去认识，不能凭空想！如果部分猜对了，那要么是已知的合理延伸，要么是纯粹碰上了。

因此科研系统工程工作中，我们一定要准备有情况的变化。研究规划计划不可能一点不变，而一直进行到底，没有那样的事！屡见不鲜的倒是在研究进行中发现要彻底改变原定计划。而且一项研究，也会不止一次要改变计划，有的要改多次。这种改变可以来源于研究工作者自己实践中的发展，发觉非改不可；也可能是由于另一项别人做的研究指出了自己原来设想的错误，再硬干下去不妥当了，也非改不可。现代科学技术研究范围广阔，与一项研究相临近、相关联的工作在全世界何止几项、十几项，甚至上百，大家都在努力，简直是国内、国际的竞赛。情报和情况交流非常重要，而且反映到计划的调整，一定要迅速、准确。做不到这一点，就会导致浪费，甚至失败，而这都是严重的。

多变的情况、及时的情报、快速的反应、成功与失败，这一系列特征，也是人类社会活动的又一领域，战争的特征。那么我们就应该考虑科研系统工程和军事系统工程之间有无相似之处，科学技术研究的组织指挥和打仗的组织指挥有无相似之处。科学学的创始人J．D．贝尔纳也曾写过一篇《科学研究的战略》的文章[13]。这个比拟是有好处的，它可以阁给我们极其丰富的启示，我们不是说：“树

雄心、立壮[57]志，向科学技术现代化进中？科学技术研究怎么不像打仗呢？

说要把科学技术研究像军队那样来组织指挥，这会引起一些科技人员的担心，说这是要集中统一了，“一统就死”，可干不得呀。我想这是怕光有集中，没有民主，把集中和民主对立起来了。我们是讲民主与集中的辩证统一，是在充分民主基础上的正确集中，不是瞎集中，所以决不会“统死”。

其实我们也常常使用军事名词来形象地阐述非军事的问题，我们不是说中国科学院高等院校、工业部门研究单位和由全国科学技术协会组织起来的广大群众是科学技术的四个方面军吗？那就从这一点说起吧。类似中国人民解放军，我们也可把我国的科学技术队伍分成“军种”、“兵种”，那是否可以说：中国科学院是一个“军种”，它结合综合性大学的理科和理工科大学，是分工搞自然科学、数学的基础研究和应用基础研究的；中国社会科学院是一个“军种”，它结合综合性大学和人民大学，是分工搞社会科学的基础研究和应用基础研究的。能否相应地说：工业部门研究单位，农业科学院，林业科学院，医学科学院，结合有关高等院狡则是各应用基础研究和应用研究的“兵种”。全国科协组织起来的广大工农群众可以说是“民兵”了。这样的类比还引出又一个组织原则，一个“军、兵种”要有一个指挥机构，统一组织指挥该“军、兵种”中的工作。所以中国科学院要统一组织指挥全国自然科学、数学的基础研究和与之联结的应用基础研究；中国社会科学院要统一组织指挥全国社会科学的基础研究和与之联结的应用基础研究；其它各“兵种”也是要统一组织指挥其一个方面的应用基础研究和应用研究。全国科协也是一个指挥部。正如中国人民解放军的各军、兵种又受中央军委、国务院国防部统一指挥，全国的科学技术研究又由国家科学技术委员会（国家科委）统一组织指挥。为了结束我国目前科技工作分散、多头、各自为政的状态，我认为上述的严密组织指挥体制是值得考虑的。现有的科学技术管理机关则在上述上级指挥下进行基层指挥。

有了上述的科学技术的各级组织指挥机构，还得有“参谋”和“司令员”才能执行任务；他们就是科研系统工程的专业人员和专家，也正如军事参谋和军事司令员要熟悉并运用军事学一样，我们的科研系统工程专业人员和专家要熟悉并运用前面讲的科学学，包括科学学的三大分支，科学技术体系学，科学能力学和政治科学学。再如军事参谋和军事司令员一样，我们的科研系统工程专业人员和专家要熟悉“战例”，也就是过去在科学技术研究工作中各重大发展的实例。通过这些实例来了解科研的曲折道路，从中吸取组织管理科研的教训，总结组织管理科研的客观规律。

在今天要办这两件事都很不容易：真正科学的科学学，即马克思主义科学学

还没有建立起来[3, 4]，还有待于今后的努力。而科研实例的收集整理也是件艰巨[58]的工作，材料很零散，大多见于科学家的自述或传记，不但不完整，而且阐述也不见得真正客观，往往夹杂个人的一些偏见。应该说科研实例的收集整理是属于科学技术发展史的领域的，所以科研系统工程也有赖于这方面工作者的努力。

我上面讲的拿军事比拟科研是对的，并且得到了实施，那还得指出这样的科研的组织指挥技术还落后于军事的组织指挥技术大约 100 年：近代军事组织指挥也大约在 19 世纪 70 年代在西欧各国相继建立起来了，而现代军事系统工程已经发展到应用博弈论，使用电子计算机来搞战术模拟了。这是从经验上升到理论，从粗糙的估计发展到数字的精确，科研系统工程要走到这一步还是明后天的事。但什么时候能建立研究科研策略的科学技术呢？现在客观的有利条件很好，运筹学的发展很快，有许多方法可以借鉴，特别是决策理论，还有军事系统工程可资借鉴，所以科研组织指挥理论的出现也许不要等到 21 世纪吧。

七

体现以上讲的科研系统工程概念的现代化科学技术研究组织是在欧美各国建立的所谓国家科学中心，如西德的汉堡德国电子同步加速器中心，美国的布罗克海文国家实验中心、费米国家实验中心、斯坦福直线加速器中心、刨桥国家磁铁实验中心等等。这些实验中心都是由国家投资、甚至有的如欧洲联合核物理实验中心是几个国家联合的国际组织投资的。这说明现代科学技术研究所需要的研究设备已经庞大到决非一家所能负担，投资以好几十亿元计，已经是国际规模的了。设备投资大、结构复杂、又很精密，这就要求有专门的科学技术队伍来运转它，并经常维护，也包括不断地逐步改进提高。这种试验设备又往往需要很大的电力和不同频率、电压的电源，要抽真空，要通风冷却，所以又要有专门的机械动力人员来操作。一句话，这类国家科学中心都有一个很大的、固定的专业运转队伍，这是班底。

但另一面又因为利用这些国家科学中心的设备的科学技术研究则是多变的。设备投资大，要充分发挥其效益，就安排多项研究，交替做实验。这样研究人员的队伍也就很大，齐头并进。研究人员总是各有专长，不能今天干这个，明天干那个，一项实验完结后，也要有个分析结果，总结成理论，再设计下一步研究的阶段。这就是说研究队伍不能固定，而要轮流上实验中心。在国外，在国家科学中心做研究的并不都是中心的固定成员，大部分不是，而是别的研究单位、高等院校的科学技术研究人员，是教授、副教授，是为了莱项试验暂时到中心工作曲。这个研究人员的流动性很大，甚至从一个国家到另一个国家，如最近在西德汉堡

实验中心高能加速器做试验而找到“胶子”存在的线索的，有中国人，有美国人，有德国人，[59]也有荷兰人等，整个班子有 300 多人，可以说来自五湖四海。这种研究人员的组成方法也有许多优点，不固定就可以择优而纳，不至浪费人力；不固定就经常有新鲜血液，不会老化；不固定就有广泛的交流，激发创造。

这样的国家科学中心必须有一个坚强的组织指挥机构，不然千头万绪，搞不好浪费人力物力，发挥不了投资效益，过错不小！在国外一般采用的办法是一个有权威的学术委员会性质的领导组织，这个领导组织根据同行的意见，评定中心年度或季度研究项目，上哪个，不上哪个。用我在这里讲的名词，这个组织的成员就是科研指挥员了，是高级科研系统工程专家，他们是科学中心工作的决策者。辅助他们的是他们的“参谋”，科研系统工程的专业人员。这些“参谋”们还要把决定下来的计划安排好，在需要临时调整时作必要的变动。

我在另一篇文章[14]中曾就高能物理实验中心问题描绘了在我国建立这种国家科学中心的图景，说明这样一个中心的研究范围将远远超出高能物理，旁及核聚变、激光、固体物理、材料科学、生物和医学，是地地道道的国家科学中心。毛主席曾经形象地把我国大规模的原子弹、氢弹和人造卫星研究工作叫作尖端技术。我也按这个精神，把国家科学中心的科学技术研究称为尖端科学技术，意思是现代科学技术的前缘。是前缘就最能代表科学技术的现代化，也就是科学技术工作的社会化。这不是在这一节讲的国家科学中心充分体现了吗？

八

现在我们可以来谈谈科研系统工程专业人才的培养问题了。我们是说培养高等院校水平的人才。要在此再次说明科学技术是包括社会科学的，不然就很难称为现代科学技术，这是我们在本文中多次表明的。因此我们设想的科技研究的组织管理学院，其一、二年级的基础课，应该是马克思主义哲学、历史唯物主义（马克思主义社会学、政治经济学）、数学、物理和化学，同时要开始教科学技术发展史。从二年级开始到三年级，学生就应该学科学学，包括三个部分：科学技术体系学、科学能力学和政治科学学[4]，同时教点运筹学原理。从三年级下半年到四年级，要讲授现代科学技术研究组织的情况。四年级的主课应是科学技术研究的实例和分析以及科技规划、计划实例的讨论。我们这里设想的学制是四年制，这大体上行不行？

具体实施这个数学设想的困难是教材问题。除了一、二年级的基础课之外，几乎全部教材都要现编，不但编写，而且像科学学和科学技术研究实例这两门重点专业课，正如前面已经提到的，它们本身就还是研究项目，目前还没有完整的

材料，甚至可以说这两门学问还没有建立起来。这当然为数学带来极大的困难，但[60]我们也要看到这种情况过去在其他领域中也多次出现过：在 20 世纪 20 年代教化学工程、教航空工程不是如此吗？那时哪里有热传导学、管流阻力的现成教材？哪里有空气动力学、航空发动机的教材？还不是边研究试验，边教学生吗？以后到 40 年代教火箭导弹技术不又是如此吗？到 50 年代教核能工程、教计算机技术、60 年代敦激光技术还不都是如此吗？其实这就是现代科学技术的又一个特征：教学生的过程也是研究学问的过程，教师一面研究一面教，学生一面学一面研究。

这样看来我们设想的科研组织管理学院也同时是科研组织管理工作的研究单位，它的人员要同时从事于科学技术史的研究，科学学的研究，为创立科研组织指挥理论而努力。所以除了开设科研系统工程专业之外，也还可以开设科学技术史的专业，可以开设科学学的专业。这也是一所“理”“工”结合的高等院校，“工”是科研系统工程，“理”是科研系统工程的理论基础。

我国建国 30 年来已经培育了一支不小的科学技术组织管理队伍，他们之中有些已经达到一定的学术水平。办我国第一所科研组织管理学院所需的教师可以从这里选拔。比如说选四五百人作为这个基干队伍。头几批学生也可以是进修班性质，把现在的科学技术研究组织管理人员进行短期培训，提高到科研系统工程的大学水平。学院也是边教边建，可能速度会快一些，出人才也快一些。当然，即便学院正式招一年级学生了，进修班也还要继续办，以不断提高已有科研组织管理人员的业务水平。

从我在本文第一节中所谈到的我国科学技术研究工作的发展前景来看，我国到下个世纪科研队伍中的组织管理人员将远远超过百万人，即便像第四节里讲的，不是所有科研组织管理人员都是搞科研系统工程的，那也要每年培养出几万科研系统工程专业人才，一所科研组织管理学院是不够的了。

原载《系统工程与科学管理》，1980 年第 1 期。

参考文献

[1] 钱学森：《科学技术的组织管理工作》，《红旗》，22（1963），19～27。

[2] 钱学森、许国志、王寿云：《组织管理的技术——系统工程》。《文汇报》，1978．9．27，第一、四版。

[3] 赵红洲：《试论社会的科学能力》，《红旗》，4（1979），64～72。

[4] 钱学森：《建立和发展马克思主义科学学》，《科学管理》试刊，3—4（1979），33～41，中国科学院图书馆。

[5] 沈恒炎：《一门新兴的综合性学科——未来学和未来研究》，《光明日报》，1978．7．21，7．22，7．23，第三版。[61]

[6] 钱学森，《现代化和未来学》，《现代化》6（1979），1～3。
[7] 钱学森、乌家培：《组织管理社会主义建设的技术——社会工程》，《经济管理》1（1979），5～7。
[8] 钱学森：《科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学》《哲学研究》，1（1979），20～27。
[9] 罗林：《认识科学规律，改革科研管理》，《光明日报》1979．3．13，第二版。
[10] 《钱学森同志谈标准化和标准学研究》，《标准化通信》，3（1979），12～13。
[11] 钱学森：《情报资料、图书、文献和档案工作的现代化及其影响》，《科技情报工作》7（1979），1～5。
[12] 许立达：《试论科学技术的预测和评价》，《中国自然辩证法研究会通信》，34，1979．8．10，第四版。
[13] J．D． 贝尔纳：《科学研究的战略》，《科学学译文集》，25～38，科学出版社，1980。
[14] 钱学森：《作为尖端科学技术的高能物理》，《光明日报》，1978．3．15，第三版；《高能物理》，1（1978），1～3。[62]

农业系统工程

张沁文　钱学森

今天这一讲的题目是农业系统工程，也就是系统工程在社会主义大农业中的应用。

在讲具体内容之前，我们首先要把农业系统工程的词义搞清。有那么一种学科归类方法，把农业系统工程归在“农业工程学”范围内，是否合适呢？我们认为是不对的。在前面几讲，我们已经说明系统工程有它特有的学科理论基础，总称为系统科学，而系统科学是一个独立的体系，在系统工程改造客观世界的实践中，将提炼出专门研究系统的基础科学以及从这一类基础科学出发，结合其基础科学；形成一系列研究系统共性问题的技术科学，而直接搞改造客观世界的学问就是各门系统工程。所以，各门系统工程在其学科归属上，只能理解为系统科学体系中的一个专业，一个分支，不能和其他工程学科混为一谈。“农业工程学”是搞技术手段的，可以说是“硬科学”。而农业系统工程是研究组织管理的，是既搞技术手段，又搞组织管理，既有“硬科学”，又有“软科学”的工程技术，性质和农业工程学有所不同。

一

我们首先讲讲什么叫农业系统。

农业是一个巨大而复杂的系统，这大家不会有什么异议。习惯上我们就有这么个叫法：农业系统或农林系统。但是为什么在农业生产中要应用系统工程呢？

首先，我们来讲什么是农业？农业就是利用太阳光的能量，通过生物转化，生产人们需要的东西，即人们所需要的食物、工业原料和生物能源（如有机质发酵搞沼气、薪炭林）；又通过生物本身的存在（如森林、草地），改造自然，创造一个人类和生物本身所需要的理想的环境。这就是农业的定义。

农业的范围很广阔，它究竟包括哪些内容呢？我们认为，除了传统的农林牧副渔而外，现代农业还要加上虫业和微生物业。这就是说，广义的农业应包括以下内容：[63]

农业：指种植业，即狭义的农业，分为粮食作物和经济作物两大类，包括粮、棉、油、麻、糖、菜、烟、药、杂等；

林业：分为用树林、经济林、薪炭林、防护林、水土保持林等；

牧业：包括牛、羊、猪、兔、马、驴、骡等；

禽业：包括鸡、鸭、鹅、火鸡等；

渔业：习惯称为渔业，其实应包括许多水产养殖，如虾、蛙、珍珠、牡蛎、海带、紫菜、莲藕、菱角、芦苇以及水生饲料等；

虫业：包括养蜂、养蚕、养蚯蚓（松土、肥田及喂猪、喂鸡、喂鱼）、养蝇蛆（喂鱼）、养赤眼蜂（以虫治虫）；

微生物业：利用微生物发酵搞沼气、生产饲料、生产蛋白质以至直接生产食物，搞生物农药、菌肥以及利用徽生物改良土壤等；

副业：主要是指用上述各业产品为原料的加工生产项目，如编织、淀粉、豆制品、手工艺品等。

随着现代科学技术广泛地应用在农业生产的实践，我国农村生产活动的范围将越来越广阔，除了上面讲的各个行业之外，还有工业，即小型工业。农村大农业生产的综合化程度也越来越高，这是达到充分利用光、热、水、气、土、生物、微生物资源，生产人类所需要的日益增多的物质财富的必然趋势。我国现在已有不少这方面成功的经验；而从世界其他国家农业走过的曲折道路来看，我国农业现代化必须走全面发展、综合利用这条路。从全局看是如此。从一个大队、一个生产队来看也是如此。一个大队、一个生产队的生产范围当然没有这样广阔，但是在他那个具体系件下，也完全可能在生产的深度和广度上大做文章，实行综合利用，全面发展。只有综合利用，全面发展，才能充分利用太阳光能，经济合理地利用有机物质。例如我国传统的间作套种、玉米、高粱和矮杆的豆类作物间作、棉麦套种，都可以提高对光能的利用率。又如利用秸杆喂牛、喂牲畜，牛粪种蘑菇，各种畜粪搞沼气，有机肥归田，最经济合理地利用了有机物质。综合利用，全面发展，能充分发挥人力优势。我国农村劳动力多，是向生产的深度和广度进军的一大有利条件。随着现代科学技术在农业生产中广泛应用和劳动生产率的提高，多余出劳动力和不断开辟新的生产门路，相辅相成相适应，是一种良性循环。特别是大力发展社队企业，走农工商一体化的道路，农村社队建成综合企业，把生产、加工、贬存、运输、销售组成一条龙，是充分安排劳动力，发展农村经济的一条康庄大道。这样做，我们就不会像世界上一些经济发达国家那样把农村人口大量引到城市中去，从而破坏农村；我们要相反，在农村就地建设现代化的生产和居住中心，使所有山乡、农庄和渔村都变成工业化、园林化、高度有文化的

新型小城镇。江苏省江阴县华士公社华西大队可以说是这种理想新农村的雏型。[64]

另一方面，我们还要利用生物来改造自然，创造一个人类和生物本身所需要的环境。人、生物、环境三者关系，人是主宰一切的。人类本身需要有一个优美的生存环境。同时，从发展生产的需要来说，为了提高生物产品，人也要能动地去改造生物，改造环境。要在大力发展生产的同时，不断改善环境，不能盲目毁林开荒、垦草种粮、掠夺土壤、破坏水源、毒化空气、污染环境。那样干，等于是竭泽而渔、杀鸡取卵，环境质量越来越差，生产水平越来越低，破坏生态平衡，导致恶性循环，造孽子孙，贻害后代，我们将成为历史的罪人，是决计要不得的。我们对自然资源、自然环境要大力开发、利用，积极治理、改造，要发展林业，保护草原，培肥土壤，涵养水源，净化空气，改善环境，要使地越种越肥，产量越来越高，环境质量越来越好，形成良性循环，创造一个合理的、高效能的、人类所需要的理想的生态系统。

很明显，我们搞农业，就是实现两个长远目标：创造更多的人类所需要的东西，经营管理好一个庞大而复杂的生产系统；不断改善环境，创造人所需要的生态系统。这两个目标是一致的，高产需有良好的自然环境，良好的生态系统必能高产。归根结底，还是一个目标，就是我们要改变自然界的系统，创造出一个人所要的生态系统。这正是系统工程所特能解决的问题。

二

现在我们来讲讲农业系统工程要达到的目的是什么。

在现代农业的组织管理中应用系统工程，能在创造人所要的高效能的生态系统中找到最佳的发展过程，达到最优的综合效果。这就要全面地处理好农业这个系统中各个组成部分之间以及系统整体和组成部分之间的协调配合关系，改变部门之间各行其是、互不协调甚至互相扯皮的现象。互相扯皮，在农业系统中是普遍的、经常的。这不单单是工作方法和工作作风的问题，是有它的久远历史原因。我国有两千年历史的封建社会嘛！

农业系统工程就要从科学技术上克服从某一部门着眼、从单一目标出发、从单一因子考虑问题的弊端，这就要求我们正确处理系统的复杂的空间结构和复杂的时间结构。农业生产系统，从空间上来说，是由各业组成的一个有机整体，在布局和结合上，经纬交叉，错纵复杂；从时间上来说，是由若干阶段组成的一个时期，在进程和顺序上，渗透往返，盘旋曲折。所以，我们既要协调系统整体和农林牧等各业的关系和各业之间的关系，又要注意全过程中阶段的划分和阶段之

间的衔接。关于阶段划分和衔接问题，我们在后面再讲。这里先讲系统整体和各业的关系以及各业之间的关系协调，也就是综合平衡。[65]

首先，农业大系统要讲综合平衡。就是要对农、林、牧、禽、渔、虫、微、副、工等各业在整体中的作用和相互关系，通过分析，作出定量反映，如各业在总土地中占用土地的比例，即占地构成，各业在经济总收入中占有的比例，即经济构成和各业在使用的人力物力资金等总投入中占有的比例，即投入构成，它们各自的构成和综合指数，都应该通过计算分析用数量表示出来，使我们能在计划协调中凭借数字依据作出综合平衡的安排。要求在投入方面有恰当的分配，经济收入有合理的构成，占用土地有合适的比例，使各业全面发展，互相促进。同时，要特别注意到，和工业、国防等部门不同，农业生产系统的各个部分之间，还有其生态学上的有机联系。农林牧等各业和环境之间以及各业之间都有着互相促进、互相制约的关系。所以要求我们从动态平衡的观点出发，分析搞清各业之间的关系，在这种复杂的有机联系中找到具有决定意义的关键，趋利避害，采取措施，在发展中协调它们之间的关系，达到一个高水平的生态平衡。这种用全局一盘棋的观点，分析系统，依据判断力，协调平衡的传统方法，虽无数理统计依据，但在系统工程中仍是必不可少的。

其次，在各分系统和生产技术中，也要讲综合平衡。例如，生物生产条件平衡，是农业生产中一个带根本性的观点。农业生产主要就是利用太阳光的能量，通过生物转化为人所要的东西。影响生物产量的因素是光、热、水、气、土。生物生产干物质的多少，一方面决定于太阳光能的多少，即日照时数和光照强度等；决定于农作物本身的同化能力。另一方面，决定于生物转化所需要的原料，主要是土壤中的营养元素、水分和空气中的二氧化碳。目前的农业生产，光能利用率很低。主要原因是生物生产原料短线：在低产条件下，土壤中肥水不足，限制了叶面积的发展。农作物生产的干物质，百分之九十至九十五是由光合作用通过碳素同化过程所构成。百分之五至十通过吸收土壤养份构成。在叶面积不足的条件下，绝不会高产。只有改善了土壤肥水供应，使叶面积充分发展到适当的程度，并维持正常的功能，光合作用所形成的同化产物才能增加。在谋求高产目标时，除了土壤中肥水不足外，空气中的二氧化碳不足也是一个重要限制因素。据计算，作物生长盛期，每日每平方厘米叶面积生产 20 毫克干物质，约需二氧化碳 29 毫克。农田土壤每日只能供给 1～10 毫克，其余部分从大气中获得。标准情况下，每升大气每日可供二氧化碳 6 毫克，如供给作物每平方厘米叶面积每日需要的二氧化碳，则要消耗 50 米空气柱中所有的二氧化碳。而且上空部分的二氧化碳对流至地面被叶面吸收，需要有一个湍流扩散运动过程，而作物层内这种扩散传递运

动很差，二氧化碳扩散效率狠低。因此，除了工厂化农业的无土栽培外，提高农作物产量的主要手段是培育肥沃的土壤。有机质含量丰富，微生物活动旺盛的土壤，能稳定地满足供应农作物所需要的营养元素和水分，并在微生物分解有机质的过[66]程中，源源释放二氧化碳，这也就是补长了生物生产原料的短线。当然，另一方面，也要培育具有强大同化功能的优良品种，那是长远目标。我们有些地区忽视了土地贫瘠的实际情况，在耕作制上过分注重提高复种指数，所谓三种三收等，一味在提高光能利用率上打算盘，不注意养地，是抓了长线，松了短线。这和国民经济综合平衡中盲目搞所谓长线平衡，犯的同一类病，效果是不好的。

另一方面农业系统工程还要正确处理多目标结构。农业系统建设总的目标是两个，创造更多的物产和改善生态环境。各个组成部分，还有具体的目标，如农业中的高产、优质、养地、防止水土流失等；林业中的森林覆盖率、出材率、林相景观、防护效益、经济收益等，这些总目标和具体目标，类型和性质不同，有的还是互相矛盾的，形成一个复杂的结构。处理这个多目标结构，要从全局和长远利益出发，兼顾局部和眼前利益，并考虑实施中的技术经济指标如投资、质量、速度等，建立一个多级结构的指标体系，作出计量反映，进行综合评价和协调。从单一目标出发决断，于长远，于全局利益是有害的。西北黄土高原，过去单打一抓粮食，造成了生态性灾难，结果粮食也没有搞上去。现在有一种主张，走另一个极端，片面强调解决生态问题，面轻视当前生产和群众生活，也是不可取的。

最后，农业系统工程还要正确处理多因子相关。在农业生产中，田间管理是贸穿在作物生育过程中充分发挥人的能动作用的一系列技术措施。科学的田间管理，要根据土壤、农作物生长发育、气候变化等情况决定措施，例如施肥的种类、方法和数量，灌溉的时间、方式和水量等等，都是受许多因子影响的。找到这许多因子和作业之间的关系，是合理施肥和合理灌溉的必要依据，这就要用电子计算机来处理许多单因子相关和复合因子的数据。如在国外，分析 11 500 个单因子相关和综合因子数据，得出蒸腾量与平均气温、平均空气湿度相关的结论，为灌溉用水量提供了依据。对肥料成份、施肥量、施肥日期及灌溉方法与肥效的相关性进行数据处理，选择最好的施肥方案。

三

在农业生产中应用系统工程，首先要掌握农业本身的规律，这就是“农事学”。农事学是研究农业生产中矛盾运动变化规律、研究农业生产指导策略的一门新生学科。现在就讲讲农事学。为了说明问题，运用类比的方法是有意义的。去年 10 月举行的一次系统工程学术会议上，许国志同志指出：不同事物、不同过程的规

律，通过精确的数学处理，从理论上发现其相似性。这个相似性难道不会引出更深刻的、潜在的具有普遍意义的新概念吗？而农事学和军事科学，正是研究农业和军事两个领域具体规律的学科。我们习惯所讲的军事科学，包括着两个研究范[67]畴：一个是研究武器装备、军事技术手段，即研究“物”的；另一个是研究兵力的部署调动，打仗的运筹指挥，研究战争指导规律，即研究“事”的。农事学与军事科学在这一点上具有相同的特征，也包括两个研究范畴：一个是研究作物、土壤、肥料、农机、农药和农业技术手段，即研究“物”的；一个是研究农业生产指导规律，即研究“事”的。研究“物”的，就是“硬科学”；研究“事”的，就可以称作为“软科学”。

事物总是联系在一起的，研究“事”和“物”的科学也是相联的。实现农业现代化，要加速发展农业科学技术，同时，研究农业生产指导规律也很重要，这是不可分割的．那么农事学的具体内容是那几个方面呢？现在我们来分析一下：

农事学的第一个方面是分析矛盾，根据矛盾的轻重缓急决定技术手段、措施的投入量。我国的农业现代化，是在继承几千年农业遗产和 20 多年社会主义集体所有制农业生产的基础上起步的。和新建一项大型工程或新实施一项大型科研任务不一样，一个地区的农业发展，要以当地农业现状为出发点，一步一个脚印前进；要根据原有的技术状况，逐步采用新技术取代老习惯，逐步改良农作物品种，改变农业生产条件，改革耕作栽培技术。这是一个技术改革和设备更新的过程，而不是在荒无人烟的沃野上新建一座现代化农场，不是平地起高楼。所以，要根据目前农业生产的情况，分析矛盾，找出妨碍农业生产发展的障碍因子，针对性的采用现代科学技术手段来排除障碍因子。在一个时期内，可能有许多障碍因子，所以要采取许多技术手段。这些技术手段，是互相影响、互相起作用而不可分割的。但它们对排除障碍、发展生产的作用有大有小，重要性不同。那么，能不能作出定量分析呢？开始时我们只能根据直观、判断来区别他们的重要性，很难直接作出定量分析。但是，却能通过投入统筹从反证中得到定量的反映。假如，在一个时期中，用于农业生产各项技术措施上的组合，我们叫它为“配伍模型”。这好比中医辩证论治中的一帖中药方剂。一个病人请中医看病，经过诊断，医师给开个方，有几味药，这好比我们在一个时期中的几项技术手段。中药的方剂，每一味药有一定的用量，所谓君臣佐使，就是主药、副药和辅佐药。例如，有一个常用方剂“小承气汤”，由大黄四钱、枳实三枚、厚朴三钱组成，主要作用是泻火、通便，治疗胃肠实热、大便燥结。同样这三味药，把用量变为厚朴八钱、枳实五枚、大黄四钱，就成了“厚朴三物汤”，主要作用是行气除满，治疗气滞腹满。疗效就不一样了。我们搞农业基本建设，搞农业生产，在一个时期中采取的一些技

术手段和措施，如建设基本农田、造林、种草、水土保持、改良土壤、修水库、搞喷灌、养猪、养家畜积肥，等等，也要有定量。假如没有定量，分不清这些措施哪个是主要的，哪些是次要的、一般的，等于是一帖没有剂量的药方，就治不了病。假如定量不对头，也不能对症治病。所以，指导农业生产，要分析农业生产中的矛盾，如农作物生长发育和土壤贫瘠的矛盾，和土地盐碱化、雨量稀少、气温低、无霜期短、日照不充[68]分、杂草竞争、病虫危害、风沙雹洪等自然灾害的矛盾，还有人们的需要和农作物本身生物学、经济学特性的矛盾，等等。在这些矛盾中，找出主要矛盾，区别次要矛盾和一般矛盾，从而决定我们解决这些矛盾所要采取的各项技术手段、措施的投入量，开出一帖能对症治病的方剂。最关键的问题，是要集中力量狠抓解决主要矛盾的那一项技术措施，也就是千方百计缩短统筹法中称之为关键工序的时间，就能加速主要矛盾的转化，促使提前结束一个阶段，提早进入一个与之衔接的后继阶段，从而大大缩短整个发展进程。

农事学的第二个方面是分析过程，寻求改造自然发展农业生产的最佳途径。我们在前面谈到农业生产系统从时间上来说是由若干阶段组成的一个时期。农业生产要不断发展，它的过程是永无止境的。诚然，我们无法预见太远的将来，但也能够实事求是地分析预测今后一个时期的发展过程。情况可能是这样的：随着时间的推移，我们所要解决的妨碍农业生产发展的主要矛盾开始是甲；而后，乙成了主要矛盾；再后丙又上升为主要矛盾。这是一个主要矛盾演变发展的过程。另外，可能有某一项技术措施要在先完成另一项技术措施之后，才能施行，在计划协调技术中叫流程特性，这是一个简单的顺序变化过程。这两种过程交织在一起，使农业生产的发展过程十分十分曲折复杂。但是，无论这个过程多么复杂，它有一根主要矛盾线，我们围绕这根主要矛盾线来考察问题。当我们正确分析每个阶段的矛盾，抓住主要矛盾，集中力量去解决这个主要矛盾时，情形就会发生变化：这个主要矛盾解决了（更确切地说，这个主要矛盾被转化为次要矛盾），农业生产便发展到一个新的水平，进入一个新的阶段。在这个新阶段中，又有妨碍农业生产向高水平发展的主要矛盾，我们又必须集中力量解决这个主要矛盾。于是，情形又发生了变化：这个主要矛盾又被解决了，农业生产又发展到一个新的水平，进入一个新的阶段。在这个新阶段中，又有妨碍农业生产向更高水平发展的主要矛盾，我们又必须去抓这个主要矛盾……发展农业生产的过程，就是我们用现代科学技术解决妨碍农业生产发展的矛盾的过程。在这个过程中，情形都不同，形成了各个不同的发展阶段。这种发展阶段，是由主要矛盾的转化而随之推移的。一个阶段有一个阶段的主要矛盾，所以，每个阶段解决主要矛盾的技术手段不同，同时其他各项措施的地位可能也有变化，所以，每个阶段的“配伍模型”

都不同。也就是说，一个阶段有一个阶段的“药方”。

显然，如果我们掌握了这种阶段演变的顺序特征，就可以按照过程演变的客观规律，一个阶段一个阶段地按步就班，顺序推进，可望取得顺水行舟，势如破竹的良好效果。总之，我们指导农业生产，认真寻求农业发展中本身固有的顺序特性，依次一个阶段一个阶段的推进，避免曲折迂回，走一条改造自然，发展生产的最佳捷径，是能够做到的。这就要求我们深刻掌握与农业生产密切有关的生物[69]学、生态学的规律，掌握各个地区的自然，经济特点和当前生产情况，依据这些规律和情况进行系统的分析和综合计划。

四

在今天这一讲，我们最后说说我们设想中的农业体制结构。

农业系统工程是强调实践的，是研究农业系统合理组建、最佳运行的一门实践工程。它是工程技术，只能在适当的社会制度和国家体制下发挥作用，建立这种制度和体制是生产关系和上层建筑的问题，是系统工程的前提。没有这个前提，系统工程再好也无能为力。我国是一个伟大的社会主义国家，国民经济建设有计划按比例发展，国家各级部门的组织是严密一体的，系统工程大有用武之天地。当前，加速发展农业，要认真落实党的十一届三中全会以来党中央有关发展农业采取的一系列政策措施和经济措施，充分调动广大农民的社会主义积极性，这是首要的条件，是农业系统工程的前提。

我国幅员辽阔，农业资源丰富，全国可以成为一个完整的自给体系。农业生产系统的分级，以系统工程的观点看，基层是公社，这样就是五级制：公社、县、地区、省、全国。这整个体系就是控制论里面的五级巨系统。在这五级巨系统中，省以下的每一级，都是上一级大系统中的分系统，同时本级都有自己条条和块块的分系统。

每一级的条条分系统，即同级的农业、林业、畜牧、水利、水土保持、水产、农机、气象、社队企业等部门，都是全局中的十个局部，它们之间互相促进，互相制约，有机地联系在一起，是组成这一级系统整体的不可分割的部分。所以，这一级的总体部门对条条分系统要综合统管，协调系统整体和分系统之间以及分系统之间的关系。

每一级的块块分系统，则是下一级的行政经济单元。同级的块与块之间，没有必然的有机联系，是相互不依存而独立的整体。一个生产大队，要在完成国家计划规定的指标任务同时，充分利用大队的资源，广开门路，增加生产，提高收入，创造最大最高的绩效。它不干别的大队的事。大队之间，一般是互不相干、

互不影响的。在涉及大队之间关系的农业基本建设工程、上下游用水分配等问题上，要依靠公社来协调解决大队之间的矛盾。同时，公社与大队之间的上下级关系中也有矛盾需要协调。公社和公社有矛盾，要靠县来协调，同时县与公社之间也有矛盾需要协调。这是多级系统的特点。如农产品征购任务的承担，国家支持地方发展的投资使用，化肥、机械等物资的分配，大型农业基本建设的施工等，要做到合理负担，共同受益，以求得全局的最好综合效果。全国范围的综合平衡和协调，[70]则要通过国家计划和制订一系列经济政策、技术政策来实现；在这当中要使用运筹学的理论和电子计算机这个工具。整个工作的目标就是早日实现我国农业的中国式的社会主义现代化。在实践中我们也将建立起农业系统工程和农事学这两门新学问.

本文是张沁文同志 19S0 年在中央电视台系统工程讲座的讲稿，原载中国科协普及部《系统工程普及讲座汇编》(上)

[71]

用科学方法绘制国民经济现代化的蓝图

钱学森

一、社会工程的对象和任务

我国进行四个现代化建设，应当运用现代化的科学方法。社会工程就是组织和管理社会主义建设的技术，是当代经济工作的一种新的科学方法。社会工程的对象不是一个工厂、一个企业、一个机构，不是指“小范围”，“小系统”这些微观经济运动，而是整个社会，整个国家范围的经济，即宏观经济运动。社会工程的任务是：

（1）设计出一个好、快、省的全国长远规划和短期计划，提供党和国家领导审查；

（2）在规划执行中根据实现情况，在不断出现的不平衡中，积极组织新的相对的平衡；

（3）根据计划执行情况和政治、经济、科学技术的新发展，提出调整计划的意见；

（4）总结实践经验，向党和国家领导提出改善生产关系、上层建筑和各种制度的建议。

总之，社会工程任务在当前就是为我国实现四个现代化，用科学的方法设计社会主义建设的蓝图。

二 社会工程是从系统工程发展起来的，是社会系统工程

什么是系统？系统的概念，在国外有些人把它说得很神奇，好像是 20 世纪 40 年代以后才出现的一个概念。辩证唯物主义认为，客观世界都是系统。一个企业是一个系统，一个部门如工业、农业也是一个系统，一个新产品、一个电力网等等也是一种系统。辩证唯物主义所阐明的物质世界的普遍联系及其整体思想，也就是系统思想。系统，即由相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机[72]整体，而且这个系统本身又是它所从属的一个更大系统购组成部分。工

程，就是实干，就是用我们掌握了的客观规律去改造客观世界。系统工程是组织管理“系统”的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法，是一种对所有“系统”都具有普遍意义的科学方法。不论是复杂工程，还是大企业以及国家的各部门都可以看作一个体系。如国家机关的行政办公叫行政系统工程，科学技术研究工作的组织管理叫科学系统工程，一种新产品的总体设计叫工程系统工程，打仗的组织指挥叫军事系统工程等等。此外，还要运用“系统”自身的学科，如企业的系统工程要运用生产力经济学，农业的系统工程要运用有关农业的科学技术和农事学。所以，运筹学和系统自身的规律性学问，是系统工程的两个理论基础。

系统工程的产生不是偶然的。正如列宁所说，管理的艺术并不是人们生来就有，而是从经验中得来的。系统工程来源于千百年来人们的生产实践，是点滴经验的总结，是逐步形成的。特别是 20 世纪以来，现代科学技术活动的规模有了很大扩展，工程技术装置的复杂程度不断提高。例如，美国“阿波罗载人登月计划”，参加的人有 42 万，要指挥规模如此巨大的社会劳动，靠一个总工程师或总设计师是不可能的。现代化建设的复杂性，迫切需要用最短的时间，最少的人力、物力和投资，最有效地利用最新科学技术成就，来完成大型的科研、建设任务。完成这样的任务，绝不能靠主观“拍脑瓜”，“拍脑瓜”既不可能又太危险，一定要科学地、定量地来处理。而且这样的任务，必然有非常大而又很复杂的计算工作量。电子计算机的出现，把客观需要变成了可能，使系统工程既有了理论又有了工具。系统工程需要有强有力的运算手段，没有电子计算机，搞系统工程就是一句空话。

在我们这样的社会主义国家，把系统工程运用到整个社会主义建设，就是社会系统工程，简称社会工程。它是系统工程范畴的技术，但不只是大系统，而可以称作是“巨系统”，是包括整个社会的宏观经济系统，它不是一个均匀的组织，而是分成内部关系比较紧密的、相对独立的部门，也有隶属分层的结构，所以是一个复杂而又高级的系统。社会工程也因此是比较艰深的一门系统工程，它要用科学方法改造客观世界，组织、计划、规划、管理整个社会主义建设。它综合了 100 多年来马克思主义社会科学发展的成果，综合了近半个世纪自然科学技术发展的成果，并吸取了近 20 多年电子计算机发展成果才成立的。社会工程除了需要它的工具理论，即运筹学和控制论以外，更需要依靠社会学、政治经济学、部门经济学和技术经济学等，以及一些有关的新学科，如科学学、未来学。另外，准确及时的情报，大运算能力的计算机是社会工程必不可少的依据和工具。搞社会工程不容易，是真的，但现代科学技术也为社会工程提供了必要的基础，完全可以搞起来。[73]

三、社会工程的准备工作和主体部分

我国社会工程工作者面临的长远规划任务是，根据党和国家规定购方针政策，利用科学技术的最新成就，设计出一个包括工业、农业、交通运输、通讯、能源、教育、科学技术、文化、人口、国防以及人民生活的宏伟方案，发挥社会主义制度的优越性。要完成这项艰巨任务，先要经过准备工作。

准备工作中，首先要获取确切的情报资料。准确及时的情报资料是社会工程的重要依据，并且直接关系着规划方案的科学性。社会生产、人民生活、生产技术、科学发展等等各方面情报，必须力求准确。要建立一个情报资料库，以便随时检索取出利用。同时，统计和通讯工作必须跟上。我国当前的统计工作很不完备，通讯工作也很落后，这种状况不能再继续下去了。没有科学的统计和现代化的通讯工具，不可能求得准确及时的情报。这方面的建设任务十分繁重，而且需要一定的投资，也可以说是准备工作中的物质建设。

准备工作曲另一个方面是资料的分析。第一、要分析出一个我国社会主义经济的综合计算模型，也就是每一种产品，每一项经济活动和其他千百万产品和活动的定量关系。第二、从大量典型和建议中得出改进每一项生产和其他社会活动措施，明确其投资和经济效果。改进措施也包含生产关系和上层建筑的改善。用现代科学技术的习惯术语，这一方面的工作就叫做为宏观经济建立正确的数学模型，它是一个理论问题，要用控制论的成果。例如在微观经济方面为了充分调动劳动者的主观能动性，而扩大企业的自主权，那在宏观经济方面会不会失去控制？这实际上是控制论中的能控性问题，是可以有理论的。而与这个问题有关的能观测性理论会告诉我们要获取什么样的经济统计数据才能恰当地掌握国家的经济情况。所以准备工作的这一方面是理论建设。

准备工作的又一个方面是思想建设，也就是要宣传社会工程的意义，把人们从习惯的、但陈旧的思想方法中解放出来，认识到使用新的科学方法的必要性和迫切性。这项工作也颇不容易，不可低估它的艰巨性。

社会工程的主体部分是把综合计算模型和改进措施结合起来，在电子计算机上算出一年一年整个社会的经济和其他方面发展情况。这是在电子计算机上进行社会主义建设的模拟试验。只要综合计算模型和改进措施的数据是基本准确，那么模拟试验的结果也是可信的。还可以变换准备采用的改进措施，算出多种规划方案，以便从中选出一个或几个他国民经济持久地、稳定地高速度发展的最优方案。由于统计数据会有误差，计算模型也可能不太准确，计算的各种数据也不可能是百分之百的准确；同时事物在不断发展变化，政治、经济的各种因素在不断

变[74]化，也经常出现新的科学成就；所以在规划执行中，还必须通过计算机进行调整，以求得新的平衡。按照这样程序制订的最优方案，可以更好地把国家、集体、个人的利益结合起来，把长远利益和眼前利益结合起来，也可以避免没有科学根据，用“拍脑瓜”订指标的办法制订经济计划所带来的危害。

四 关于社会科学工作者与自然科学工作者、工程技术人员的结合，国民经济的总体设计部

自然科学工作者和工程技术工作者进入社会科学领域，和社会科学工作者一道共同解决国民经济中的一些重大问题，是当代经济工作发展的新趋向。例如，有一个联合国支持的，在奥地利维也纳附近的国际应用系统分析研究所（“IIASA”这个名字显出国外有关系统工程名称的混乱，系统分析本身就是应用科学，还冠以“应用”干什么！），是以美、苏为主，有 17 个国家参加的国际学术性研究所，研究国家、国际和地区性未来发展问题。在 146 名研究人员当中，除了自然科学家，工程技术专家以外，有经济学家 31 人，其他社会科学家 12 人，环境生态专家 14 人（1977 年底的情况）。

从以上这个研究机构的组成可以看出，我们搞社会工程，不能只靠工程技术人员，而是要我们的社会科学工作者和自然科学工作者、工程技术人员携起手来，共同发展和从事这项工作，共同为现代化事业作出贡献。这也说明不能把社会科学排除在现代科学技术这个概念之外。社会科学同自然科学、工程技术一样，是科学技术的一个不可缺少的组成部分。马克思主义哲学，就是社会科学和自然科学的高度概括，社会科学家、自然科学家、工程技术专家要结合起来，互学所长，互补所短，开展大协作，建立翻开展系统工程的各方面工作，创立和发展系统工程的各方面理论。要造就一大批系统工程师、系统设计师、社会工程师、社会设计师。现在，有的大专院校已经设置了系统工程系科和研究所，中国科学院最近成立了系统科学研究所，人的培养工作已经初步开始，要认真搞下去。今后，有必要调整对社会科学人才的数育工作。社会科学工作者应该具备一定的自然科学和工程技术知识，以便在他们的工作中更好地运用现代科学技术的新成果。

在经济建设中运用社会工程，必须有运用它的机构，必须成立国民经济总体设计部。国家计委可以把经济研究所扩大成这样的部门，这是比较适当的。最近，已经有少数同志用系统工程的方法研究和计算社会经济问题。如七机部宋健等同志研究和计算了我国人口问题，深受从事人口工作同志的欢迎。国家计委也有人用系统工程方法研究国民经济问题。这是一个良好的开端，也说明系统工程方法是有用的。现在需要把力量组织起来，让社会工程在社会主义建设中起更大[75]

的作用。

我国是社会主义国家，社会主义制度的优越性使我们能够有计划、按比例发展国民经济。为实现我们共同的远大目标——国民经济现代化，有必要，而且经过一定努力，也有可能比资本主义国家更好地运用现代化方法——社会工程的方法，解决国民经济中的一些重大问题，使我们的经济工作能够更好地按照经济规律办事，按照自然规律办事。这本身就是社会主义建设中一个重大项目；重大，因为它不是一件容易办的事；重大，更因为它能大大提高我国社会主义建设的经济效果，在长期计划中，搞好搞坏，差额不是十几亿、几十亿，而是几百亿、几千亿元。我们应该不畏艰难险阻，而为发展社会工程作出努力。

原载国家计委经济研究所《计划经济研究》1980 年第十一期。由薛吉涛、齐琦整理

计量系统工程

钱学森

我下面讲的，只是我个人的一些想法，仅供参考吧，讲错了的还要请同志们批评指正。

一

先讲一点我对于计量工作的一些认识。计量工作跟实现我国的农业现代化、工业现代化、国防现代化、科学技术现代化有什么关系呢？我想，一句话，可以这样说：没有计量工作的现代化，要实现四个现代化是不可能的。

我看到四机部罗沛霖同志的一个发言稿，他说计量工作是自有商品交换之后就有了必要了。这个说法是对的。假设在一个像原始公社那样的社会制度，我们确实不需要计量工作，或者是一个人闭门造车，跟别人不要搞什么协作，我看那也不要搞计量工作。一旦人们的生产活动发展到多地区的多集体的协作协同，如果你做的东西跟别人对不上，生产就搞不下去，那就必须要有计量工作。所以，也可以这样讲，有了商品交换，也就是有了多地区多集体的生产协同，就需要有计量工作。我们都知道社会的历史，当人类社会进步到奴隶制的时候，就逐步开始了商品的交换，在奴隶社会的后期，就有计量工作的要求。中国历史上头一个搞全国的计量工作的就是秦始皇吧！因为他那个时候统一了全国，就感到有搞全国统一的计量的必要了。从那个时候开始，已经需要有计量。那么生产越发展，多地区多集体的分工协作就越来越发展。以致到了今天，发展到一个人类历史上从来没有的这样大规模的生产。所以，我们现在需要计量工作，那就更自不待言了。

再说，我们现在要扩大国际贸易，如果计量工作没有搞好，也会造成混乱，也会给我们在经济上造成损失。听说有这样的事情，我们因为怕称重的，或者是测量容积的测量设备不准，如果短缺了，合同上是写着要罚款的，我们怕罚款，所以说多给一点吧，再保险一点吧，据说这样子，我们让国外的商家多拿了我们的东西是有的，那也是经济上的损失嘛！从这一点来看，计量工作不光是我们国内的计量工作，而且计量工作一定要跟世界范围的计量工作联系起来。我们中华人民共[77]和国也仅仅是世界上的一个国家，我们要跟人家交往，那么就必须把

我们的计量工作跟全世界的计量工作联系起来，我们不能说，我们是我们的，我不管你的。

四个现代化，有科学技术现代化。科学技术工作里面，对计量的要求也是很高的。这个道理也很简单，所谓科学技术，无非是客观的规律。客观的规律，科学的规律，是要用量来表达的。这个量，如果你测的量，不是标准的量，那么你所测出来的物质运动的规律，恐怕就不符合人家测出来的物质运动的规律，也就是你成了你单独的“科学”的规律，那怎么能行呢，科学规律只有一个嘛！但是，因为你用的量，表达的不准，那你就搞不了科学技术工作，不能够跟全国的、全世界的科学技术工作联系在一起。这个方面的要求，那是越来越高的。记得我在1972 年的计量工作会议上就说过这样的例子，就是美国的加州理工学院，是搞高能物理的。它从 30 年代后期开始就搞高能物理，但是到第二次世界大战以后，它发现它在 30 年代后期 40 年代初期这十几年所做的高能物理测量工作，通通报废。为什么呢？就是因为高电压的计量不准。到第二次世界大战以后，它就要重新重复它的工作。这就是刚才讲的，你的计量不准，你所发现的科学规律就不能跟其他人发现的规律、跟世界发现的规律对上口。最近，我们在报纸上也看到美国普林斯顿大学搞受控热核聚变，用托克马克式的实验装置，也有计量的问题，就是他们用了一个新的方法来加热等离子体，所谓用中性的高能的氢原子来加热等商子体。但是它的计量工作投有走在前面，它的仪器能够测量的等离子体的温度太低了，最高能测到 60 兆度，也就是 6 000 万度。实验开始了，看到表指到 4 500万度，觉得情况正常，还可以加热，加到 5 000 万度，还正常，再加热，加到 6 000万度，好了，到了头了，不能再测了，实际上还可以加热，最后就不知道是什么温度，乱猜了，可能到了 8 000 万度，也许比 8 000 万度还高，也许还没有 8 000万度，不知道，实验就只能终止了。到底它用中性的氢原子加热的技术，能够把等离子体加热到什么温度，离开点燃热核反应还有多远，现在只好等一等，等到计量工作跟上来再说。这都是很戏剧性的例子。在科学技术中，由于计量工作没有搞上去，吃亏了的事，还多得很。

所以，这三个方面——从生产的社会化、大规模化、专业化分工这个角度来看计量工作的重要性，从国际交往、进出口这个角度来看计量工作的重要性，从科学技术的发展来看计量工作的重要性，是不是我们可以这样说：没有现代化的计量工作，就不可能实现四个现代化。

二

那么，怎样使计量工作现代化呢？[78]

我想，计量真正说起来，无非是有许多生产科研单位，如工厂、车间，它的生产过程当中，需要测量，那么这些测量就应该有一个标准，所以有计量的要求。车间里头总有许多测量的工具，这些测量工具要求维持在一定的精度范围之内。所谓精度范围，就是标准的精度范围。另一个方面，农业的生产，人民公社，那也需要做计量工作。因为生产当中肯定会需要，譬如农药的配比呀，肥料的施肥呀，等等。如果计量不准的话，那要出乱子，或者是浪费，或者甚至于可以出现更大的危害。所以，农业生产也需要有计量工作。再有一个，我们学校，小学、中学有试验室，到大学、高等院校更有许多的试验室，高等院校而且要进行科学研究。那么，计量工作在它那儿当然也是很重要的，不然的话，他没有法子教学。比如说，教物理，他用他的仪器一测，咋！这个规律不是大家公认的规律，你还发现新规律啦！当然不是啦，就是因为你测的不准。做研究工作，那就更需要准确的测量工具。所以学校也需要有计量工作。第四个方面，将来会越来越大，就是研究单位，刚才我已经举了例子了。研究单位的计量工作是非常重要的。所以还有其他方面，都有计量工作。

那么，首先我们要分析这每个单位、每一个基层单位他对于计量的要求是什么，它的计量站或者计量室的任务是什么，而且要看它们如何去完成这些要求、任务．怎么做到？那就产生了所谓建立全国计量网的问题。

计量网怎么建立，跟我们怎么样去维持基层计量器具精度的方法是有关系的。我听说一种方法就是说三级传递，计量传递的这么一种方法，也就是把计量的精度分作三级，更高级的精度向更低级的精度负责，就是低精度助仪器要拿到它那儿来校准，因为它精度高，这是一种办法。我想，这样的一种计量工作网的组织，就跟我们打电话有分局一样的。全国的电话，如果都集中到一个总局，都在那儿来交换，那就不得了了。这个总局为了简化，采取了分局，一个地区或者一个单位有一个接线站，然后在更大的范围，在基层的上面有一个分局。这是一个分级的组织办法。但是用什么形式的组织方法，这跟我们这些计量器具的校正的方法是有关系的。如果我们精度差点的仪器，必需要拿到精度更高一点的那个站去校对的话，那恐怕这就是一个办法。但是我们能不能够更灵活地来想一想这个问题，想得更宽一点，实际上是什么问题呢？实际上；精度、计量的精度，这是一个计量的信息。这个信息怎么传递，就会决定这个信息网怎么组织。所以，计量网的这个组织，随着我们计量信息传递技术的发展，而会有变化的。我们不能够说那一个方法就是一成不变的，我们在考虑怎么组建我们全国计量网的时候，就应考虑根据现在科学技术的发展，这些计量信息的传递还会有一些什么样的变化，把这些可能的变化考虑进去，不然的话，你辛辛苦苦建立起来的全国计量网到你建

立起来之后，又会过时啦，又会发现不很好使，很不好用。所以，在这里，我要提出[79]这么一个问题，就是计量工作从组建全国计量网这个角度来看，是不是一项系统工程。

我主张计量工作要从系统工程的角度去考虑。如果说计量传递就是计量信息的传递，那么也就是信息系统工程的一种应用。那么，从搞国防尖端技术，我们有一个体会，就是既然是一个复杂的系统，这个系统的总体是非常重要的．就是这整个系统，刚才说的，全国的计量网，就是一个系统。这整个系统如何来设计，你建立以前就要设计嘛！所谓设计，无非是基层有那么千千万万的单位，他各有不同的要求，你的任务就是怎么想办法维持基层的系统的计量器具的精度，你有什么手段，采取什么方法，可以采取几种方法，如果定下来了以后，这个方法又怎么样用在组建设计全国的计量网，这就是计量网的总体设计。那么，搞这一项总体设计，是要用系统工程的方法，或者信息系统工程的方法，你要动用像运筹学这样的理论。当然，计量科学技术的成果你也要用。把它这个设计，看成是一个像是盖房于式的搞土建设计这样一个设计。直到我们搞卫星啊，设计卫星运载火箭，我们都是这样搞的，里面包括助东西是很复杂的，一个运载火箭里面包括的东西也是很复杂的，那都是专业，都是专行，你怎样把专行的这些东西捏在一起，这就是卫星的总体设计部或者运载火箭的设计部，那么，我想我们要建立我们中华人民共和国的全国的计量网，我们要把这个计量网跟全世界的计量网联系起来，我们怎么组建这个网，那就是应该有一个计量网的总体设计单位，这是不可少的。这叫计量系统工程。

总体部设计的这个网，它还有具体的物质，来执行计量的任务，计量信息传递的任务，所以应该有量具量仪的专门研制单位和生产厂，也应该有专门的标准物质的设计研制单位和厂，这是将来要建立全国计量网所必需的物质基础。当然还要加强整个计量科学的研究，推动科学技术的发展，要有专门的研究单位。所以，为了建立全国的计量网我想要有总体设计部，要有实现这个网的必要的器材、量仪量具、标准物质，这就应该有生产单位；还要有计量科学技术的研究单位。这就是我想从系统工程这个角度来考虑计量网，似乎应该有这么一个组织，不知道对不对，请大家研究。

三

最后我想讲一下，让我们解放思想，考虑计量信息传递有没有更好的办法。我们老办法就是一个：拿着仪器去对。我想这个办法是比较原始的。因为动物在发展过程中，对于动物之间的信息传递，也经过一些发展，人就高明了。蚂蚁的

办法，就是蚂蚁碰蚂蚁，两个蚂蚁一碰，大概是触角吧，传递信息。我们人就好了，我[80]们祖先发明人会讲话，讲话就不需要两人碰在一起，通过空气声波来传达，现在更发展啦，可以打电话，那就是远啦，最近还有卫星通讯，远隔万里都可以通讯。所以是信息，信息是代表物质的某一种状态的资料，传递的方法，应该可以研究研究，是不是一定要两家对面才能够解决问题。譬如说，现在研究的广泛在国外用的标准物质，这是个好办法，那就不需要搬仪器了。我发给你一个标准物质，你这个仪器对不对，你就先拿这个标准物质测量一下，你就可以看出来准不准啦，这是一个办法，似乎应该大大发展。

我们的组织手段，办事的手段，可以变一变。将来如果许多计量器具是标准化的一些计量器具，我们是不是可以组织一个服务队，就是你打电话说，我这个仪器过了时了，可能不准了，那好，你这个服务队去了，把另外一台经过校准的仪器跟他换就完了，把他那一台可能不准的仪器收回，换给他一台经过校准的仪器。这样是不是有好处呢？因为服务队搬动这些仪器是专家，他有专门的防震措施，等等，不至于产生问题。这是不是也是个改进的方法。

还有一种，就是能不能够用无线电信号传递计量信息，譬如说时间的标准，大家都知道是用无线电传递的，那么现在频率的标准是可以非常准的，可以用无线电来传递，如果频率的标准是很准的话，如果我们规定光速是个常数，那么这两个就可以产生波长，即长度的标准。所以，我觉得能不能够在这个方面，多想一些办法。或者结合标准物质，加上无线电的传递信息，我们就能够解决所有的计量器具的保持精度这个问题，也就是用标准物质加无线电信号，就能够解决计量信息的问题。如果能够做到，我想这是大好事情。那样，你也不需要几级传递啦，咱们这儿国家计量总局有个中央台，到时我广播信号，你们大家接就是了，谁也别动，不需跑腿，仪器也不需要跑腿了。是不是有这个可能，很值得研究一下。

本文是钱学森同志 1978 年 13 月 26 日在全国计量工作会议的发言。

标准化和标准学研究

钱学森

一

我们国家要打破闭关自守，要和国外交往。这就有个尖锐问题摆在我们面前。是用国际上的标准，还是自己搞？我们要解决好局部和全局的矛盾。当然，我们有我们的具体情况，而每个工厂也都有不同情况，但要服从全局，要有全国的标准，厂要服从全国。全局还有世界的全局，如果我们的标准和世界标准不一样，就会产生很多矛盾。我们的产品总要出厂，总要进行贸易嘛！原来，各国自己都有标准，可是都在考虑怎样和世界交流，许多国家都在努力使自己的国家标准过渡到国际标准。例如计量单位，英制老家在英国，现在英国也要改用国际制；美国也在动。我想，我们大规模的工业建设处于初始阶段，干脆下决心全部用国际标准，这就是说，世界上有五分之一人口采用了国际标准，这无损于我们的威望。我们参加了国际标准化组织，采用国际标准，就有了发言权，还可以为第三世界说说话，可以打破霸权主义的垄断。

当然是不是采用国际标准是件大事，这样的大事，要由中央来定。

我想，就是全部用国际标准，国际标准也不是一下子都订得出来的，我们自己还要补其不足，国家标准也会有一些。还有工艺标准、操作标准，那得由生产部门负责，这就不必强求一致。所以，把制订标准和世界挂钩，剩下来是工艺标准、厂标准，那就好办了。大的方针定了，就要有个过渡。过渡怎么办？这倒是具体问题了，要解决。

计量部门实际上是为标准化服务的，虽然计量的工作量很大，但从性质上讲是为标准化服务的。标准的执行，一部分靠计量进行检查，看是不是按标准办了。

上面说的是近期的目标。标准化是现代化的标志之一。不搞标准化是小农经济。我们当“小炉匠”当惯了，小手工业，小生产。我们的“长官意志”也厉害；“长官”不通，你还没办法。要宣传标准化的重要性。找些人写文章，写历史上的经验教训，在各省、市、自治区的科技小报和科普刊物如《科学实验》上刊登。举个[82]例子，我们现在的书写纸、纸夹子、柜子规格都很乱。外国都标准化了，

连柜子都是标准化的，一定规格的纸，放在一定规格的夹子里，放在一定规格的柜子里，很方便，甚至活页纸打的孔也是标准化的。我们的建筑也要标准化，门窗都要标准化，那就方便多了。

二

标准化研究所研究什么呢？

最近我在想，把系统工程的概念扩大一点，我在前不久写的几篇文章中讲到科学的组织管理技术，系统工程，但有些理论问题没有搞清楚。科学研究的组织管理技术，叫科技研究系统工程，但理论基础之一的“科学学”还没建立。教育也是如此，教育系统工程的理论基础之一是教育学，但教育学也没讲清楚。标准化也是一门系统工程，任务就是设计、组织和建立全国的标准体系，使它促进社会生产力的持续高速发展。但标准化系统工程这项技术似乎还没有牢固的理论基础，还缺一门“标准学”。标准学还是尚在研究的东西。标准学是把标准化作为社会的一项活动，历史的经验教训是什么？到底应该怎样组织？它不光是自然科学问题，还有政治问题、经济问题；它介乎自然科学和社会科学之间，社会科学成分更大一些。标准化系统工程的方法是有的，运筹学、控制论、电子计算机等等。所以方法这部分不耽心，只要有理论，就可以组织干。

因此，标准化研究所的重点是研究标准学。要研究历史，中国从秦始皇就搞标准化，外国从什么时候搞的？要看过去有什么经验教训今后有什么趋向。你们有个标准化协会吧？将来要组织大家大大讨论一番。总之，首先要建立“标准学”，要有人研究这门学问，作为研究所的重要任务，下硬功夫。当然，参加了世界组织，要研究世界情况，要对国际活动有对策，这属于情报方面的工作。要了解外国和国际动向，预先知道人家要干什么。再一个是国内的部标要协调，要有人专门协调。还有是执行标准过程中的调查研究。根据研究成果向局领导、国务院领导提出建议，也应该是研究所的工作。这些东西部准备了，也就有了系统工程了。

标准化和计量不一样，计量学是物理学、化学的一部分，理论是现成的。

我知道摘标准化阻力相当大，所以你们要大力宣传，要想方设法宣传，除了你们自己的宣传刊物，要通过各种报刊、杂志宣传。

原载《标准化通讯》，1979 年第 3 期。

[83]

从社会科学到社会技术

钱学森

第五届全国人民代表大会第三次会议是一次非常重要的会议，会议对我国国家领导体制的改革迈出了重要的一步，这将对我国社会主义制度和实现四个现代化产生深远的影响。现在我们认识到这样一个事实：我们创立社会主义的新中国虽然已经30年，除了头几年恢复和过渡时期外，我们经历的是一条曲折的道路，有成功的经验，但也有不少失败的教训，回过头来看，我们毕竟对在中国这样一个人口众多、生产十分落后、又有两千年封建传统的国家，如何建设社会主义，还没有一套完整的理论和办法。搞了30年，最后要承认这一事实，是使人难堪的。但是终于认识了这一事实，也就是一大进步，它又使人鼓舞。

本文想就有关的学术问题说点个人意见，以求教于我国科学技术工作者，请大家来讨论，批评指正。

一

如何建设社会主义，如何建立社会主义国家中党和国家的领导体制，当然必须对我们的社会有一个正确的理论，用理论来指导实践。这是个什么理论呢？是什么学问呢？这当然是马克思主义社会科学，也就是用马克思列宁主义、毛泽东思想的立场、观点和方法来研究我们社会的科学；或说在马克思主义哲学指导下，研究我们社会活动的科学。不幸的是，我国没有把社会科学的研究放到应有的位置上来。建国以来我们培养了700、800万大、专毕业生，但他们中的绝大多数是理、工科的。也就是自然科学和工程技术方面的，社会科学方面的是少数。

不但研究社会科学的人数少，而且在30年的时间里，除了最近粉碎“四人帮”后的这几年以外，社会科学工作者常常在“左”的压力下工作。人们说，那时自然科学工作中犯点学术错误只是个工作错误，而社会科学工作中犯点错误就是政治错误，影响一辈子！在这种气氛下，要社会科学工作者解放思想、大胆探索，又怎么可能呢？谁还敢吸取资本主义社会研究中的可以利用的东西？无非闭关自守．抱住几本死书不放，背诵“经”文。至于在林彪、“四人帮”横行的日子里，那昏暗的[84]岁月，更不用说了。这样，我国的社会科学又怎么能发展前进呢？

又怎么能研究我国实际问题，为建设我国社会主义的实践提供理论性指导呢？当然，现在情况大变，我国社会科学家是思想解放的，敢于探索的。但这只能说是在党的十一届三中全会以后，才两年时间，时间还短。

在另一方面，我也不赞成一味地“吸取”外国的东西，跟着外国人跑，或“恢复”一些本来在旧中国使用过的不妥当的字眼。现在有没有人在赶时髦？我看好像有！我举一件小事：现在有人从外国“引进”了“人文科学”这个词，说在我国也要培养人文科学的人才等等。我认为人文科学这个词是陈旧的。因为马克思主义哲学认为人的知识来源于社会实践，而知识或学问可以分为两大门类，一类是对自然界的知识，一类是对社会的知识。而这后一类包括了一切社会活动；历史只不过是对过去社会活动的知识，文学作为学问，也只是对社会文艺活动规律的学问。所以国外称为人文科学的只不过是马克思主义社会科学的一部分。没有必要引进这个词。

从以上的论点来看，我们研究社会科学的目的是为建设我国社会主义提供理论依据。所以研究对象必须侧重于中国社会历史的和当前的中国社会；国外的社会现象也要研究，为了帮助我们更深刻地理解我国目前的社会问题。换句话说：我们搞社会科学是为了改造我们的社会，使它更符合人民的需要和愿望，能更加为人民谋利益。因此，从这个立场和观点，研究社会科学的目的与研究自然科学和技术的目的没有不同，社会科学同样是提高人民物质生活和精神生活水平的工具，而且是不可缺少的工具。那为什么不能说社会科学是生产力呢？如果说科学技术是生产力，这里说的科学技术要包括社会科学。

那么科学技术现代化包括不包括社会科学现代化？社会科学需要不需要现代化？从我一开头讲的和上面讲的，我以为社会科学现代化也是我国的一项迫切任务。马克思、恩格斯这两位导师都没有见到社会主义国家；列宁领导创立了苏联，有许多建立社会主义国家的具体论述，但可惜经历不长；毛主席领导全党全国人民经过艰苦的斗争创立了社会主义中国，但由于没有现成的经验可借鉴，到底没有留给我们一套建设社会主义的完整的理论。伟大的导师们留给我们的是一个今后发展科学的社会科学的理论基础，一些社会科学这所大厦的部分构筑和构件，新时代的社会科学要我们来发展。因此，当然要把我国社会科学现代化作为我国实现四个现代化总任务中的一项十分重大的工作。

二

社会科学现代化的内容到底是些什么呢？我感到既然目的是为了中国的社[85]会主义建设，谈社会科学现代化要从我国的四个现代化说起。我们可以先考

虑经济建设。

为了搞好经济建设，我们要首先明确什么叫社会主义。这是因为社会主义这一概念被林彪、江青这些家伙搞得混乱极了。他们把我国搞社会主义建设斥为“修正主义”，又把他们的封建法西斯主义叫做社会主义。要澄清这个问题就必须研究并发展政治经济学，特别要研究在我们这样一个生产十分落后，农村人口占人口总数约 80%的国家，如何高速度地发展生产力，而又巩固和发扬社会主义制度的优越性，例如，我们要研究在什么范围内允许个体经济作为一个集体经济和国家所有制经济的辅助手段而发展？能不能允许个人长途贩卖？这就要求政治经济学不但在重大原则问题上作出解答，而且在具体实际问题上提供答案。

为了搞好经济建设，必须按经济活动本身的规律、需要、作用管理经济，这就要深入研究一系列经济科学，如技术经济学和于光远同志提倡的生产力经济学[1]。而要充分发扬我们国家资源、人力的优势，避开我们的短处，我们又必须开展又一门于光远同志倡导的经济学分支：国土经济学[2]。

科学技术现代化是四个现代化的关键，而发展我国科学技术（包括社会科学）就要求我们掌握现代科学技术作为一个方面的社会活动的规律。研究这些规律的是一门新兴的社会科学，叫做科学学[3]。科学学又包括三个分支：研究现代科学学科体系结构的科学技术体系学，研究现代科学人力、物力组织的科学能力学和研究现代科学技术与国民经济建设和国防建设关系的政治科学学。

此外，人口问题是目前全国人民普遍关心的问题，人口规划必须列入长远规划。长期以来，作为一门社会科学的人口学没有受到重视。直到最近才有一些科学家如宋键等同志用数学方法进行人口预测的精密计算[4]。这就是人口学现代化的一项努力。

从社会主义建设的整体来看，所需要发展的社会科学部门还很多，远不止上面谈到的几个学科。但即使学科都发展了，都有了实际的成果，也还要具体应用到国民经济的长远规划上来，才能对建设社会主义起到实际效用。这是一门综合性的学问，长远规划的学问。乌家培同志和我认为这是一门直接改造客观世界的学问，因而是一门工程技术，一门系统工程，或说是一门改造社会这个大系统的系统工程。我们称之为社会工程[5]。社会工程要用所有上面说到的和没有直接说到的社会科学，也要用系统工程的理论，运筹学，更必须靠大型电子计算机来进行具体的规划计算。没有大型电子计算机是不行的，因为这是一个包括工业、农业、交通运输、通讯、能源、教育、人才、科学技术、文化、人口、人民生活和国防建设的总体方案。

要实现社会工程这一设想还要作好下列三个方面的准备工作。一是要获取[86]

确切的情报资料，这是社会工程的重要依据，并且直接关系着规划方案的科学性。社会生产、人民生活、生产技术、科学发展等等各方面的情报，必须力求准确及时。要建立一个情报资料库，以便随时检索取用。同时，统计和通讯工作必须跟上。我国当前的统计工作很不健全，通讯工作也很落后，这种状况不能再继续下去了。这方面的建设任务十分繁重，而且需要一定的投资，所以这一准备工作也可以说是准备工作中的物质建设。二是要对经济活动的材料进行分析。第一，要分析出一个我国社会主义经济的综合计算模型，也就是每一种产品，每一项经济活动和其他千百万产品和活动的定量关系。第二，从大量实践典型和群众、专家的建议中得出改进每一项生产和其他社会活动的措施，明确其经济效果。改进措施也包含生产关系和上层建筑的改善。这一方面的工作是为宏观经济建立正确的数学模型，它是一个理论问题，要用控制论的成果。例如在微观经济方面，即一个企业单位的经济方面，为了充分调动劳动者的积极性，而扩大企业的自主权，那在宏观经济方面会不会失去控制？这实际上是控制论中能控性问题，是有理论的。而与这个问题有关的能观测性理论，又告诉我们要获取什么样的经济统计数据才能恰当地掌握国家经济的情况。所以准备工作的这一方面是理论建设。第三是准备工作中的思想建设，也就是宣传社会工程的意义，把人们从习惯的但又陈旧的思想方法中解放出来，认识到使用新的方法的必要性和迫切性。这项工作也颇不容易，不可低估它的艰巨性。

以上，我们通过社会工程这个例子，可以看到要实现社会科学现代化，并把现代化的马克思主义社会科学用于改造客观世界，其实际规模和工作量决不下于现代工程技术，如大型水利工程或发射人造卫星的航天技术。社会科学要走出研究室到实践第一线，投入到改造社会的战斗中去。社会科学家要和组织管理专业人员一起，要和自然科学家和工程技术人员协作，搞大规模的工程。这就不只是研究科学了，而是一门技术，可以称为“社会技术”。所以社会科学现代化包括社会科学走向社会技术，要实现从科学到技术的这一重大发展。

三

社会技术决不只有社会工程这门系统工程，还有许多对建设社会主义非常重要的其他方面。

我以前曾经认为环境保护为一项系统工程，叫做环境系统工程[6]。我当时只认识到这是一项既有自然科学又有社会科学的工程技术，因为它要涉及到植物、动物、物理、化学，以及气象学、海洋学，也要引用经济学，但我是偏重于自然科学的。现在看来，这样认识环境保护不完全合乎实际。我国早已成立了国务院

的环[87]境保护办公室，不可谓国家不重视；而且去年全国人大常委会还制定颁布了环境保护法，也有法可依了。但现在环境污染仍然没有得到治理，而且还在发展。其中道理可能在于忽视了环境保护工作中的经济因素和社会因素。所以我以前的认识要修正：应该把环境保护作为一项社会技术来看，环境保护是一门改造社会的系统工程。

我以前也提出教育工作，一所高等院校或一个城市的小学、中学的组织管理和运行，是教育系统工程[6]。我仍然认为这是可以的。但现在以为，这样考虑问题还太窄，从国家的角度来看，从社会的角度来看，教育不只是学校教育，更不只是小学、中学、中技校、大学的教育，还有短训班，还有通过广播、电视、科学知识普及、展览馆、博物馆的社会教育。而且智力开发也不能只说培养，还有结合培养人才的提拔人才，教育和选拔相结合，才真正是出人才的好途径。在我们国家，现在教育和选拔是分开管的：一个是国务院教育部管学校，一个是广播事业局管广播和电视。一个是中国科协管科学普及，这都分管教育；另一方面是国务院科技干部局管选拔使用。这个情况应该改变，要统一成为全国智力开发的机构，推进智力开发这一改进我们社会的重要工作。智力开发也是社会技术。

在说到发展系统工程的时候，我曾提出搞行政系统工程[7]。现在可以认为这是与改进我国党和国家领导制度密切相关的又一项社会技术。要克服官僚主义改进政府工作，就要用行政立法来明确建立各个行政机构和各机构内各单位各个人的职责制度，这将是一项庞大的工程，一是不但国务院和各级人民政府要建立这样的制度，而且全国人民代表大会和各级人民代表大会以及各级法院、检察院也要建立这样的制度；二是这样的政体又必须在党的领导下有效工作。这样一个复杂体系要既严密又灵活，能有效地适应社会的不断发展。另外，整个国家机构又必须充分使用专业科学技术人员，才能对各种重大问题进行反复调查、测算、研究、论证、争辩、对比，然后领导再讨论决定。为此就要认真考虑在国家和各级机构中设置研究性单位，由专业专职人员和专业咨询人员组成，作为领导的参谋。将来行政性机关要精简，但要设置行政研究的单位，也是干部知识化、专业化的一项重要措施。

当前又一项国家建设工作是在进一步发展社会主义民主的同时，健全社会主义法制。我们建国以后的 17 年，国家制定的法律、法令和行政法规，据大略的统计，有 1 500 多件。其中许多法规现在仍然是适用的或者基本适用的。五届全国人大二次会议以来，我们又颁布了地方各级人民代表大会和地方各级人民政府组织法、全国人民代表大会和地方各级人民代表大会选举法、人民法院组织法、人民检察院组织法、刑法、刑事诉讼法、国籍法、婚姻法等十几个法令。这样看来，

将来社会主义法制健全了，全部法律、法令和法规恐不下万件。我们的法制要健全，那[88]就是说不能有漏洞，有矛盾，而且要能适应国际法规。要在包括上万件法的庞大体系中做到这一点是一项不简单的事。我想可能要引用现代科学技术中的数理逻辑和计算技术。而这还不是全部社会主义法治的工作，因为上面说的还只是健全法制，还有执法的侦察、检举、审判以及拘留、律师制度，全部才构成法治。建设全部社会主义法治的工作也是改造我们社会的极为重大的任务，我以前称之为法治系统工程[7]。其实这也是一门社会技术。

四

以上两节中提到的社会技术还是就以前讨论过的几门系统工程而言的，我认为社会技术这一概念还可以发展，还可以设想其他方面。

在社会主义建设中的一项非常重要工作是对广大群众和干部做政治思想工作。这是因为我们并不生存于真空中，我们的群众和干部受我国两千年封建主义思想残余的影响，又受资产阶级思想的影响。尤其在现在，我国同各国交往日增，接触所谓西方文明产物的机会很多，潜移默化，影响不可忽视，这些非无产阶级思想的存在必然对我国社会主义建设起干扰、甚至破坏作用，我们一定要对其抵制，对错误思想进行认真的批判，并肃清它们。这是一件长期面又艰巨的任务。

几年来，我们曾以为党和国家的着重点转移到实现四个现代化方面来，主要是作经济建设工作了，从而放松了思想政治工作，甚至有些政工人员想转业了。去年社会风气和社会思潮经历了三个风浪，使大家从新认识到思想政治工作的重要性。阶级斗争还确实存在，风浪常常会有。不但如此，而且我们的工作对象和斗争环境和过去革命战争、解放战争时期大不一样了，对象是学生或有知识的人，也不是相对封锁的解放区而是门户开着的和国际交往的新世界。所以同志们痛感过去行之有效的一套政治思想工作方法，不大适应新的情况：高等院校的政治课学生不爱听；广大人民对报纸说的不那么相信。大家对此看得清楚，尤其对青少年中流行的不健康思想风气，感到焦急。是的，情况变了，这就迫使我们开动脑筋，去研究问题症结所在。

其实正和任何事物一样，群众、干部的思想活动也是社会活动的一个方面，也是一种社会现象，也必然有它自己的规律。只要我们努力去认识思想政治活动的规律，掌握它，我们就能做好政治思想工作。这也就是说要把思想政治工作作为一门科学，科学地做思想政治工作。第一机械工业部和全国机械工会带了一个头，在今年 5 月底 6 月初联合召开了一次思想政治工作座谈会，研究了思想政治工作科学化的问题。[8]在这之后《光明日报》又组织了一系列文章[9]讨论思想政治

[89]工作科学化问题．严求实同志强调思想政治工作不能离开人们的物质利益去分析各种思想问题，也不能离开人们的物质利益去解决各种思想问题。这从基本上说当然是对的，人自盘古开天以来，一切作为都是为了能活得更好些。但也要区别个人与集体，个人利益与集体利益。一般情况下，我们要兼顾个人、集体和国家三者的利益。但经验告诉我们，有时个人利益与集体利益有矛盾，这时为了集体利益要牺牲个人利益，最后多数人的集体才真能得到利益；如果只顾个人，多数人的集体要受损失。一个英雄战士能付出自己的生命，去保卫祖国；一个革命烈士能牺牲自己，去保护同志和完成党的使命；一个优秀共产党员能吃苦在前，享乐在后。这都是人之高于一切动物，人之为什么成为高尚的人。当然不是无故牺牲个人，而是为了个人所属的集体的利益，而牺牲个人，这是无产阶级的道德，是合乎社会主义伦理学的。

这样说来，思想政治的科学可以称为马克思主义德育学。它是以马克思主义哲学，辩证唯物主义和历史唯物主义为指导的。其基础是政治经济学、心理学、伦理学、社会学和教育学等。我们也要吸取历史上的可以为我们所用的东西。我们一定要早日建立这门德育学，一门社会科学。德育学属于现代化社会科学，也当然是社会科学现代化内容之一。

有了德育学这门科学，我们就可以把社会主义宣传工作用现代科学技术组织起来：在宣传工作的统帅指挥部，要有通信网与各地方联络，及时反映人民群众中的思想动态；这些情报要一方面贮入情报库，以便随时提取使用，一方面反映在指挥显示屏幕上；宣传参谋人员用德育学理论分析情况，也可能要利用像电子计算机这类工具和分析模型，估计不同宣传行动对人民群众思想的影响和作用；参谋方案在宣传指挥员决策后，就下达到基层单位，同时下达到报纸、期刊、广播台、电视台，以及文化艺术单位去实施；实施情况通过通信网报告宣传统帅指挥部。指挥部就真如同军事作战部门一样，统帅思想政治工作的作战；而整个宣传部门工作人员就是作战的部队。这不是又一项改造社会的工程吗？所以思想政治工作也可以成为一项社会技术。

通过建设这项社会技术，我们一定能使思想政治工作组织得更加坚强，再复杂的斗争也能适应了。这难道不是社会主义建设所必要的吗？

以上我讲了社会科学的现代化，从此引出了社会技术，即改造社会的工程技术，讲了些社会科学现代化的内容，也讲了些社会技术的项目。我没有阐述实现社会技术的具体的现代科学技术条件和这些条件的发展情况，诸如情况情报的收集，技术分析的组织，以及决策的理论等。对此，王寿云同志有专文论述。当然还有非常重要的培养人才问题，这我也不多说了；但看到建国以来已经培养了 300

多万理、工科高等院校毕业生，那我们为什么不在今后 20 年内培养出几百万社会[90]科学和社会技术的大专学生呢？

原载《文汇报》1980 年 9 月 29 日

参考文献

[1] 于光远：《关于建立和发展马克思主义“生产力经济学”的建议》，（草稿）。

[2] 于光远：《建立和发展国土经济学研究工作问题》，《技术经济和管理现代化通信》，1980 年第 9 期，第 1 版。

[3] 钱学森：《关于建立和发展马克思主义的科学学的问题》，《科研管理》，创刊号。

[4] 宋健、于景元、李广元：《人口发展过程的预测》，《中国科学》，1980 年第 9 期。

[5] 钱学森、乌家培：《组织管理社会主义建设的技术——社会工程》，《经济管理》，1979 年第 1 期，第 5 页。

[6] 钱学森：《科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学》，《哲学研究》，1979 年第 1 期，第 20 页。

[7] 钱学森：《大力发展系统工程，尽早建立系统科学的体系》，《光明日报》，1979 年 11 月 10 日，第 2 版。

[8] 《光明日报》1980 年 8 月 9 日，第 1 版。

[9] 严求实：《思想政治工作是一门科学》，《光明日报》，1980 年 8 月 11 日，第 1 版；
谭滔：《值得重视的探索》《光明日报》，1980 年 8 月 14 日，第 2 版；
谭滔：《尊重人　信任人　关怀人》，《光明日报》，1980 年 8 月 19 日，第 2 版；
徐联仓、凌文轻：《工人思想动态的心理学研究》和彭好荣、沈宏达、李世显《社会心理学在思想政治工作中的运用》，《光明日报》，1980 年 8 月 22 日，第 2 版。

大力发展系统工程尽早建立系统科学的体系

钱学森

关于系统工程的重要性，现在大概没有什么不同意见，但必须说明：正如大家在会议中多次讲了的，系统工程是技术，它只能在适当的社会制度和国家组织体制下发挥作用。建立这种制度和体制是生产关系和上层建筑的问题，是系统工程的前提，没有这个前提，系统工程再好也无能为力，当然，我们从系统工程的观点，可以提出对改革的建议。另外，因为系统工程是个新生事物，所以大家对其涵义、范围等，说法不一，例如有的同志就罗列了八种不同的解释[1]。当然，一个问题大家意见不同，并无坏处，可以交流讨论，互相启发，认识可以因而深化。我在这次会议中就因为听了同志们的报告，看了一些会议材料而深受教育，现在也是抱着参加讨论的目的，作个发言。我的总想法是：我们搞科学技术应该用马克思主义哲学为指导，因此考虑问题一定要从马克思列宁主义、毛泽东思想的立场、观点和我国的实际出发，不能一味跟外国人走；他们搞不清的，我们应该努力搞清楚，他们不明确的，我们要讲明确，而且要力求符合大道理。当然，我在这里说的一定有不妥当的地方，也会有错误的地方，还要请大家批评指正。

一

我觉得我们首先应该搞清楚“系统”这个概念。在国外，有那么一些人一说到系统工程中的系统，总好像是20世纪的新发现，是现代科学技术所独特的创造。这在我们看来，自然不能同意，因为局部与全部的辩证统一，事物内部矛盾的发展与演变等，本来是辩证唯物主义的常理；而这就是“系统”概念的精髓。以前在科学技术中不注意系统溉念的运用，正是受了科学技术早年历史的影响。恩格斯就讲过：“旧的研究方法和思维方法，黑格尔称之为‘形而上学’的方法，主要是把事物当做一成不变的东西去研究，它的残余还牢牢地盘踞在人们的头脑中，这种方法在当时是有重大的历史根据的。必须先研究事物，而后才能研究过程。必须先知道一个事物是什么，而后才能觉察这个事物中所发生的变化。自然科学中的情形正是这样。认为事物是既成的东西的旧形而上学，是从那种把非生物和

生物当[92]做既成事物来研究的自然科学中产生的。而当这种研究已经进展到可以向前迈出决定性的一步，即可以过渡到系统地研究这些事物在自然界本身中所发生的变化的时候，在哲学领域内也就响起了旧形而上学的丧钟。”[2]恩格斯还把这一认识上的飞跃称为“一个伟大的基本思想，即认为世界不是一成不变的事物的集合体，而是过程的集合体”[3]。这里，恩格斯讲的集合体不就是我们讲的系统吗？恩格斯强调的过程，不就是我们讲的系统中各个组成部分的相互作用和整体的发展变化吗？而恩格斯的这些光辉论述写于 1886 年初，距今大约 100 年了！

其实，马克思、恩格斯、列宁和毛主席的著作中还有许多这方面的论述，我们现在搞系统工程一定要熟悉这些论述，作为强大的理论武器。我们要认识到系统这一概念，来源于人类的长期社会实践，首先在马克思主义的经典著作中总结上升为明确的思想，而决不是什么在 20 世纪中叶突然出现的。

系统有自然界本来存在的系统，如太阳系，如自然生态系统，这就说不上系统工程；系统工程是要改造自然界系统或创造出人所要的系统。而现代科学技术对系统工程的贡献在于把这一概念具体化。就是说不能光空谈系统，要有具体分析一个系统的方法,要有一套数学理论，要定量地处理系统内部的关系。而这些理论工具到本世纪中叶,即 40 年代才初步具备;所以系统工程的前身,即 Operations analysis，operations research 到 20 世纪 40 年代才出现。当然系统工程的实践一旦产生实际效果，社会上就有一般强大的力量推动它发展，因此也就促使系统工程理论的发展，理论与实际相互促进。现代科学技术对系统工程的又一贡献是电子计算机。没有电子计算机的巨大计算能力，系统工程的实践将几乎是不可能的；系统工程的许多进一步发展还有待于性能更高的计算机的出现。这就是系统工程的历史：马克思主义先进思想所总结出的系统概念孕育了近 60 年的时间，到本世纪中叶才终于具备了条件，开出了一批花朵。要获取丰硕的果实，尚有待于我们今后的精心培育。

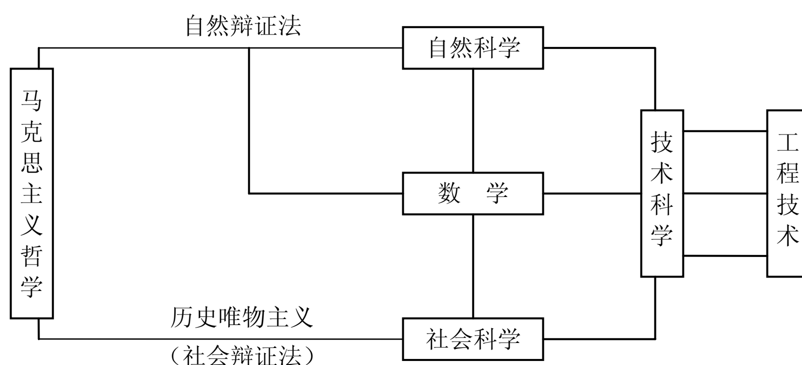
二

系统工程是工程技术，是技术就不宜像有些人那样泛称为科学。工程技术有特点，就是要改造客观世界并取得实际成果，这就离不开具体的环境和条件，必须有什么问题解决什么问题；工程技术避不开客观事物的复杂性，所以必然要同时运用多个学科的成果。一切工程技术无不如此。例如水力工程，它要用水力学、水动力学、结构力学、树料力学、电工学等，以及经济、环境、工农业生产等多方面的知识。所以凡是工程技术都是综合性的，综合性并非系统工程所独有。有人说系统工程是“高度综合的”，这一说法也许由于系统工程综合了人们本来认为

好像[93]不相关的学科，一旦习惯了，也可以把“高度”这两个字省略。

系统工程是一门工程技术呢？还是一类包括许多门工程技术的一大工程技术门类？我倾向于后一种意见。因而各门系统工程都是一个专业，比如工程系统工程是个专业，军事系统工程是个专业，企业系统工程是个专业，信息系统工程是个专业，经济系统工程（社会工程）是个专业；要从一个专业转到另一个专业当然不是不可能，但要有一个重新学习的阶段。这就如同干水力工程的要转而搞电力工程要重新学习一段时间都能胜任。既然不是一门专业，提“系统工程学”这样一个词就太泛了。这如同说一个人专业是“工程学”，那人们会问，他专长的是哪一门工程？因此我认为不必在系统工程这个一大类工程技术总称之后加一个“学”字，以免引起误解，好像真有一门工程技术叫系统工程学。我不想在系统工程后面加一个“学”字，也还有另外一个意思，那就是想强调系统工程是要改造客观世界的，是要实践的。

系统工程这一大类工程技术有没有共同的学科基础呢？如果有，又是什么呢？我认为为了更好地回答这个问题，我们先来考虑一下工程技术和其基础理论之间的关系，也就是现代科学技术的体系学[4]。我认为现代科学技术包括马克思主义哲学、作为它和自然科学和数学之间桥梁的自然辩证法、作为它和社会科学之间桥梁的历史唯物主义（社会辩证法入自然科学、数学、社会科学，然后是技术科学、工程技术。这个体系的结构可以用下图来表示。



从这个现代科学技术总体系来看，系统工程是工程技术，问题是什么技术科学是其共同的理论基础？许国志、王寿云和我在《文汇报》的文章[5]中提出称这一共同基础为运筹学，我们当时也指出这是借用了一个旧有的名词，也就是国外叫Operations Research而我们以前把它译作运筹学的这个词。老的运筹学包括了某些系统工程的内容，如军事系统工程，那是历史的原因。我们的运筹学不包括系统工程的内容，而只包括了系统工程的特殊数学理论，即线性规划、非线性规

划、博弈论、排队论、库存论、决策论、搜索论等。运筹学是属于技术科学范畴的。

自动控制是建立在系统概念上的。尽管如此，我们在《文汇报》的文章中没有明确地把自动控制的理论，控制论作为系统工程的一个主要理论基础。这是照顾到现阶段的一个具体事实；一个系统当然有人的干预，在概念上可以把人包括在[94]系统之内，但现在理论的发展还没有达到真能掌握人在一定情况下的全部机能和反应，所以把人包括到系统之中还形不成通用的理论；另一方面，系统工程的目前水平又一般地要有人干预，包括有时要发动群众出谋献策，所以还不能一般地搞一个没有人的系统，完全自动化。由于这些原因，我们虽然认为控制理论的大系统以至巨系统、多级控制发展是很有意义的，一定要提倡，但控制论作为系统工程的共同主要理论基础恐怕还有待于将来。我这样说只是想实事求是，绝不是没看到开发系统工程这一重要领域的，国内国外，都有不少来自原来搞自动控制、研究控制论的人；他们能敏锐地抓住这一科学技术的新发展，超出自己原来工作的范围，这应该受到欢迎。

除了运筹学这个系统工程的重要共同理论基础之外，又一个重要共同基础是计算科学和计算技术。

有的同志要把这两类各门系统工程的共同基础连同其他数学工具通称为“系统工程学”，我认为这样做不一定妥当，名词和内容不相符。因为系统工程的理论基础，除了共同性的基础之外，每门系统工程又有其各自的专业基础。这是因为对象不同，当然要掌握不同对象本身的规律：例如工程系统工程要靠工程设计，军事系统工程要靠军事科学等。这里用表把各门系统工程和与之对应的特有学科基础列出来。

从表中可以看出各种系统工程横跨了自然科学、数学、社会科学、技术科学和工程技术，发展系统工程需要各个方面的科学技术工作者的通盘合作和大力协同。我们这次会议有社会科学家参加，人数虽然不多，但意义重大。也因为这个原因，我觉得刘源张同志在这次会议中讲得好，他指出：工厂企业等的管理问题都涉及到人，而人是社会的人，受他所处社会的影响；因为中国的社会不同于外国的社会，我们在许多系统工程的实践中千万不要忽视这个差别。

系统工程的专业	专业的特有学科基础
工程系统工程[5]	工程设计
科研系统工程[4]	科学学
企业系统工程	生产力经济学[6]
信息系统工程[7]	信息学、情报学
军事系统工程[8]	军事科学

经济系统工程[5]	政治经济学
环境系统工程[4]	环境科学
教育系统工程[4]	教育学
社会（系统）工程[9]	社会学、未来学[10、11]
计量系统工程[18]	计量学
标准系统工程[19]	标准学
农业系统工程[12]	农事学[12]
行政系统工程[5]	行政学
法治系统工程	法学

三

表中列了十四门系统工程，其实还不全，还会有其他的系统工程专业，因为在现代这样一个高度组织起来的社会里，复杂的系统几乎是无所不在的，任何一种社会活动都会形成一个系统，这个系统的组织建立、有效运转就成为一项系统工程。同类的系统多了，这种系统工程就成为一门系统工程的专业。所以我们还可以再加上许多其他系统工程专业。

表中前一半 7 种系统工程大家可能比较熟悉，不需要解释。后 7 种系统工程中的第一种是教育系统工程，那是专门搞一所学校，一个地区的学校以及一个国家教育系统的组建、管理和运转的，它的特有学科基础是作为社会科学的教育学。我认为薛葆鼎同志在这次会议的报告中说的宏观经济规划问题，就是社会系统工程。社会系统工程也可以简称社会工程[9]，是组织和管理社会主义建设的，也就是在中央决定一个历史时期的大政方针之后（例如现在我国要实现四个现代化），社会工程要设计出建设总图，并制订计划、规划；它特需的理论学科是社会学和未来学[10]这两门社会科学。计量系统工程和标准系统工程是搞一个地区、一个国家的计量和标准体系的，他们的组织、建立和正常执行，这在现代社会已成为非常重要的职能[18、19]。包括农、林、牧、副、渔的农业，其重要性是无疑的了，但现代农业作为一种系统工程、农业系统工程是张沁文同志[12]的建议；我认为这个建议很好，要支持。农业系统工程的特有理论，张沁文称为“农事学”。这些思想在我们这次会议中的马世骏同志和李典谟同志的文章[13]也讲到了。行政系统工程是说在社会主义制度下，行政工作、机关办公完全可以科学化，加上现代档案检索技术，也可以计算机化。计算机可以拟出文件或批文草稿，可能包含几种抉择，供领导采用；它的理论也许是行政学吧。社会主义法治要一系列法律、法规、条例，从国家[96]宪法直到部门的规定，集总成为一个法治的体系、严密的科学体系，这也是系统工程，法治系统工程；它的特有基础学科是法学。从我国目前实

现四个现代化所迫切需要解决的问题来看，这后 3 门系统工程关系到农业发展，关系到提高行政效率，关系到加强社会主义法制，其重要性是很明显的。

当然目前系统工程概念具体化才不过十几年，只有表中头几种系统工程专业算是建立了，有了一些比较稳定的工作方法，算是有些教材可以教学生。大概从环境系统工程开始，往下这 8 种系统工程，有的尚在形成，有的只不过是一个设想，要靠我们今后的努力才能实现，但我在这里大胆地把他们列入表中，而且宣称还有许多未列而必然在将来会出现的系统工程专业。这是否有点冒失？我认为从马克思、恩格斯早在 100 年前奠定的系统概念来看，加上运筹学的迅速发展，以及电子计算机技术的突飞猛进，我们的提议是不过分的。为了四个现代化，我们一定要大力发展系统工程的各个专业。

我们在去年[5]就是基于这样一个认识才提出要组建“理”“工”结合的专修组织管理专业的高等院校，并提出将来我们国家不是设几所这样的组织管理学院，而是几十所，上百所各有所专的各种组织管理学院，就如现在有综合性的理工院校、也有专业性的航空工程学院、船舶工程学院、通信工程学院等。此外也还要建相应的中等专业学校。这将是教育事业中的一次重大革新。从这次会议来看，这一变革已经开始了，系统工程教育已得到教育部的关怀和重视，得到发展。全国已有十几所高等院校设置了系统工程方面的课程，上海机械学院设置了系统工程系，在西安交通大学、清华大学、天津大学、华中工学院、大连工学院、上海化工学院还成立了系统工程的研究所或研究室。在军队学校中已有国防科学技术大学建立了系统工程和数学系。其他一些军队院校也都开展了系统工程的工作。有了这个开始。我想不要几年就会有我国第一所“理”“工”结合的组织管理学院了。我建议把这件事列入国家的第六个五年计划。

发展系统工程还需要加强这方面工作人员之间的学术交流，开展学术讨论。我们这次会议也是一次成功的活动。现在已有几个学会和研究会很重视系统工程，如航空学会举办了系统工程和运筹学讨论班，自动化学会有系统工程委员会，中国金属学会采矿学术委员会成立了系统工程专业组，管理现代化研究会也举办了系统工程的讨论会。可以说学会活动已经开展起来了。是否还有需要成立一个专业的系统工程学术组织，我们大家可以考虑。

但为了宣传和交流系统工程的工作，我想我们应该办好一个系统工程的科学普及性刊物和一个系统工程方面的学术性刊物。我们还要出版一套系统工程方面的丛书。所谓系统工程方面是指系统工程和其共性的理论运筹学，以及有关的计算机技术，如何落实，逐步做到，也要请大家提出意见。

四

从我以上的阐述来看，系统工程可以解决的问题涉及到改造自然，改造、提高社会生产力，改造、提高国防力量，改造各种社会活动，直到改造我们国家的行政、法治等等；一句话，系统工程涉及到整个社会。所以我们面临由于系统工程而引起的社会变革决不亚于大约 120 多年前的那一次：那是因为自然科学的发展壮大，从而创立了科学的工程技术，即把千百年来人类改造自然的手艺上升到有理论的科学，由此爆发了一场大变革。系统工程是一项伟大的创新，整个社会面貌将会有一个改变。

当然，我们现在仅仅在这一过程的开端，像我们以前已经提到的那样，我们现在能够看到的只是很小的一部分，就是表中所列举的 14 种系统工程也不过是系统工程全部中的一部分。也因为同一理由，我们说到的也不一定确切，14 种系统工程的划分也会在将来的实践中有调整。但更重要的一点是系统工程一定会在整个社会规模的实践中对理论提出许多现在还想不到的问题，系统工程的理论还要大发展。这又有两个方面：一个方面是对每一门系统工程所特有而联系着的学科，正如表中所示，他们有的是自然科学或从自然科学派生出来的技术科学，但看来将来会更多地是社会科学或主要从社会科学派生出来的技术科学；这里有大量的新学科。另一方面，作为系统工程的方法理论的运筹学更会有广泛的发展，因为实践会对它提出更高的要求。正如前面已经讲过的，系统工程将来一定会更多地用控制论，不但用工程控制沦，而且用社会控制论。我们还要创造一些特别为系统工程使用的数学方法，特别是在统计数学和概率论等不定值的数学运算方面。计算数学也会因系统工程实践而有某些特定方面的发展。

这样说来，系统工程所带动的科学发展是一条很广泛的战线，不是一种、几种学科，而是几十种学科。日本的科学家们提出了一个新名词，叫“软科学”[14]。我们的日本朋友没有明说，但我想这“软”字大约来自“软件”吧？因为这些学问是以信息的处理为主要对象的，是搞“软”的，不像我们以前所熟悉的自然科学总是同物质运动的速度、力、能量等打交道，是搞“硬”的。所以我们在上面说的这一大套学科技术，似乎也可以借用“软科学”这个词来概括。但我进一步考虑：从系统工程改造客观世界的实践，提炼出一系列技术科学水平的理论学科，能就到此为止了吗？要不要更概括更提高到基础科学水平的学问呢？例如运筹学会不会引出理论事理学，控制论（包括工程控制论、生物控制论、社会控制论和人工智能等技术科学）会不会引出理论控制论呢？这个可能是存在的，就在这次会议上许国志同志[15]的报告就明确地指出：不同事物、不同过程的事理，通过精确的数学处理，[98]从理论上发现其相似性。这个相似性难道不会引出更深刻的、潜在的具有普遍意义的新概念吗？物理学的能的概念不就是这样产生的吗？目前

强于理论的研究，不是通过量子色动力学提出“真空”不空的新概念吗？所以应该承认完全有可能出现理论事理学和理论控制论，那用“软科学”这个词就显得局限了些，深度不够。另外，要看到系统里面也有许多“硬件”，并不像“软件工程”专搞软件那么“软”。所以不宜用“软科学”这个词，我们应该回到系统这一根本概念，采用“系统科学”这个词。系统科学是并列于自然科学和社会科学的，是基础科学。

建立系统科学这个概念之后，我们就有了一个学科的体系，可以从整个学科体系的结构来考虑问题，也就是参考前面的图，来研究系统科学的发展。这样，从系统科学这一类研究系统的基础科学出发，结合其他基础科学，我们组成一系列研究系统共性问题的技术科学；也许这些学问可以统称为系统学[16]。现在的系统学主要是运筹学。与系统科学有关的还有各门系统工程特别联系着的技术科学学科和社会科学学科。直接搞改造客观世界的学问就是各门系统工程了。

这也就是说，上图中的科学技术体系只是目前的状况，不包括我们在上面讲的这一发展。到 21 世纪，基础科学不能只是自然科学、社会科学、数学这三大类，还得加上系统科学一类。其实，几十年后，一定还会有其他变化，例如在这次会议上，吴文俊同志[175]提出要把数学机械化，就是一个振奋人心的革新。当然马克思主义哲学在得到科学技术新发现、新发展的充实、发展和深化之后，仍然是指导一切科学技术的基础理论。

辩证唯物主义的认识论教导我们：客观世界是不以人们的意志而独立存在的，人可以通过社会实践逐步认识客观世界，而当人掌握了客观世界的运动规律之后，又能能动地利用这些规律来改造客观世界，并在实践中检验我们认识的正确性。我在这里提出大力发展系统工程，尽早建立系统科学体系的论点，符合不符合马克思主义的认识论呢？要不要这样干呢？这有没有体现了 100 年前恩格斯的伟大思想呢？这都是很值得思考的一些问题。这次会议的讨论给了我们很多启发，但我们在会后还应该继续研究，力求把稳发展方向。大家努力吧！

这是钱学森同志在 1979 年 10 月北京系统工程学术讨论会的讲演稿，原载于 1979 年 11 月 10 日《光明日报》

参考文献

[1] 沈泰昌，“关于‘系统工程的概念’的命题中《系统工程与科学管理专集》(四)。

[2] 恩格斯：“路德维希. 费尔巴哈和德国古典哲学的终结”，《马克思恩格斯选集》，第四卷，240～241 页。[99]

[3] 同上，239～240 页。

[4] 钱学森：“科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学”，《哲学研究》，1979 年第一期，第 20～27 页。
[5] 钱学森、许国志、王寿云：“组织管理的技术——系统工程”《文汇报》，1979 年 9 月 27 日，第 1、第 4 版。
[6] 于光远，“关于建立和发展马克思主义‘生产力经济学’的建议”草稿。
[7] 钱学森：“情报资料、图书、文献和档案工作的现代化及其影响”，《科技情报工作》，1979 年第七期，第 1～5 页。
[8] 钱学森，王寿云、柴本良：“军事系统工程”，《系统工程与科学管理专集》（三）。
[9] 钱学森，乌家培：“组织管理社会主义建设的技术——社会工程”，《经济管理》。1979 年第一期，第 5～7 页。
[10]沈恒炎：“一门新兴的综合性学科——未来学和未来研究”，《光明日报》，1978 年 7 月 21 日，22 日，33 日。
[11]钱学森：“现代化和未来学”，《现代化》，1979 年。
[12]张沁文，钱学森：“农业系统工程与农事学”，《论系统工程》，湖南科学技术出版社，1982 年，第 121～136 页。
[13]马世骏、李典谟：“生态系统与系统分析”，本次会议上宣读的论文。
[14]刘英元：“软科学”，本次会议上宣读的论文。
[15]许国志：“论事理”，本次会议上宣读的论文。
[16]顾基发、周方：“浅谈运筹学与系统学”，《航空知识》，1979 年第七期，第 5～7 页。
[17]吴文俊：“数学的机械化与机械化数学”，本次会议上宣读的论文。
[18]钱学森：计量系统工程，全国计量工作会议上的发言稿，1978 年 12 月 26 日。
[19]钱学森：标准化和标准学研究，《标准通讯》，1979 年第 3 期。

关于建立和发展马克思主义的科学学的问题

钱学森

外国人都说科学学是英国科学家 J. D. 贝尔纳在 20 世纪 30 年代创始的，但他们也不见得都按贝尔纳的原来意图搞，而把科学学的研究范围说得似乎很宽广，各种说法又不一致。就连科学学的名称都不一样，英国人称 science of sciences，美国人称 sociology of science；我看他们不如用 scientiology 更简练些。其实我们现在也不必非采用他们的说法不可，因为我们走的是社会主义道路，路子不一样嘛。那什么是科学学？我认为：科学学是把科学技术的研究作为人类社会活动来研究的，研究科学技术活动的规律，它与整个社会发展的关系。什么是马克思主义的科学学？所谓马克思主义的，是指用马克思列宁主义、毛泽东思想的立场、观点和方法来研究科学学。这是重要的，因为科学学是一门社会科学，必须如此。

这些观点，我在另外一篇文章[1]已经说过。在读到于光远、龚育之和王兴成同志的近作[2]之后，受到教益，但我又感到意犹未尽，所以再写这篇文字，参加讨论，并向同志们请教。

一

既然科学学是研究科学技术活动的一门社会科学，它就是一门学科，它不是一门直接改造客观世界的工程技术。有没有一门这方面的工程技术呢？有的，而且是一门在现代社会中有非常重要意义的工程技术，即科技研究的组织管理技术，我把它叫做科研系统工程，是系统工程这一类新的工程技术之一。要搞好科研系统工程当然要研究科学学，不然就没有理论基础；但科研系统工程的实践，即科学技术的研究、研制工作的组织管理，除科学学之外，还要许多其他学问和技术，如运筹学、经济学、计算机技术等[3]。最根本的是要区别科学理论和工程技术，前者有单一的研究领域，而后者总是综合多种学科的成果来具体进行一项建设和组织管理工作。

现在，我们的同志急于要提高我国科学技术研究、研制工作的组织管理水平，这是可以理解的；但有些同志就因此把科学学同科研系统工程混淆起来，要科学

[101]学工作者去直接解决我国当前的科技组织管理问题，那也许会欲速而不达。当然我们研究科学学主要是为了提高我们的科技组织管理水平，加速实现我国科学技术现代化。这个目的是明确的。我讲这个话是想劝我们科技组织管理工作者要对科学学有点耐心，不要杀鸡取卵。

科学学既然有别于系统工程，当然也不同于讲系统理论的系统科学，科学学也就与另一类与系统科学和系统工程密切联系着的所谓“软科学”不相干，这也是一个要明确的问题。

还有一个问题是：科学学包括不包括社会科学的研究活动？我认为科学学的研究应该包括这一部分社会活动。科学学不能只是自然科学的科学学，科学学也是社会科学的科学学，而且也是技术科学和工程技术以及哲学的科学学。

科学学是自然辩证法吗？或者说科学学也研究科学研究中的方法论吗？我看还是不缠在一起为好。如果说目前我国自然辩证法研究工作还未打开局面，因此要借科学学来走出一条路子，这不见得妥当；科学学是研究科学技术研究这一社会活动，不是研究科学技术本身，所以也不去搞科学的方法论；科学学是可以和自然辩证法分清研究领域的。自然辩证法自有其广阔的活动范围，比如用自然科学的新发现来丰富并深化马克思主义哲学。而且一旦我们说科学学同自然辩证法有交叉，那么科学学还包括社会科学的研究活动，岂不科学学又和历史唯物主义或社会辩证法也交叉了吗 7 这样会打乱本来可以划分清楚的各学科之间的界限。当然，这是说学科；一个人可以同时搞几门科学的研究，自然辩证法的工作者也可以同时研究科学学。

二

以上是讲科学学与其它学科的划分。那么科学学应该是什么呢？我想科学学的一个重要内容是科学技术体系学，也就是科学技术的分门别类，各门学科之间的相互联系，学科体系的发展，演变，新学科的成长和老学科的消亡或重新划分。这当然与研究整个科学技术的活动有关，所以是科学学的一个重要内容。科学技术的各个学科组合成为一个整体的、联系的体系，这是恩格斯在大约 100 年前指出的。我们现在的科学技术体系有六个组成部分（如图 1），概括一切的是哲学，哲学通过自然辩证法和历史唯物主义（社会辩证法）这两个桥梁和自然科学、数学科学和社会科学相联接。自然科学研究自然界，社会科学研究人类社会，数学科学则是自然科学和社会科学都要用的学问。在这三大类学科之下，介乎用来改造容观世界的工程技术之间的是技术科学，那是针对工程技术中带普遍性的问题，即普遍出现于几门工程技术专业中的问题，统一处理而形成的，如流体力学、[102]

固体力学、电子学、计算机科学、运筹学、控制论等等。在工程技术问题中新起的一大类是各门系统工程。

科学技术是不断发展的，图 1 所示的体系大致代表了科学技术目前的状况，以前不是如此，将来也不会老是这样。大约在本世纪初，科学技术的体系中就没有技术科学这一大类，因为它尚在建立之中。那时数学也只是作为自然科学的一个部门，没有划出来，因为那时即便是科学的社会科学也还没有用数学方法，数学似乎为自然科学所独有。所以在本世纪初，科学技术的体系大致如图 2 所示，是四大部类所组成。如果我们再往前追，大约 130 年前呢？那时工程技术也还没有成为学问，改造客观世界的能工巧匠只被认为是有才能的人，而他们的才能还没有总结成为学问，特别是能在高等院校里讲授的学问，所以列不进科学技术的体系中。130 年前的情况，大约如图 3 所示，是三大部类的科学技术体系。再往前呢？比如说两百年前呢？那时没有马克思主义的哲学，也没有科学的社会科学，科学技术就只有一个部类，即自然科学，如图 4。如果还要往前追溯，那就没有科学的体系了；我们一般讲科学自文艺复兴起，16 世纪以前只有科学的部分成果，形不成体系。

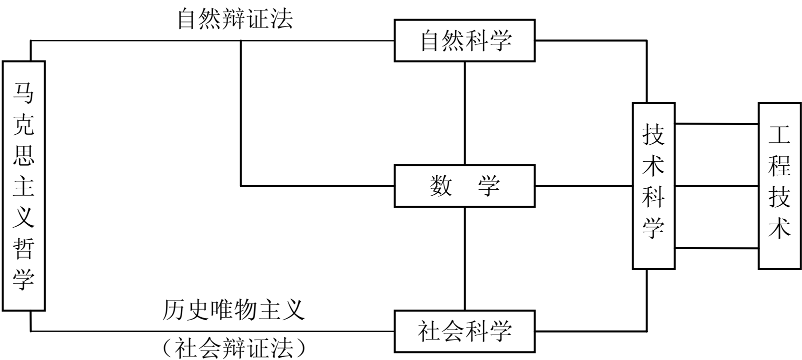


图 1

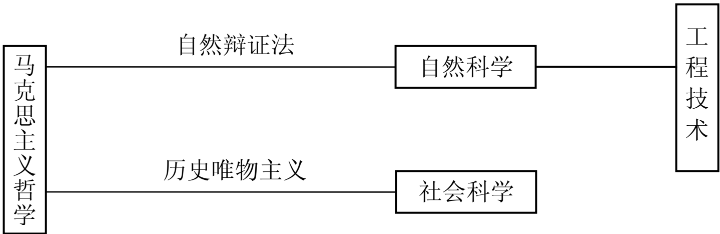


图 2

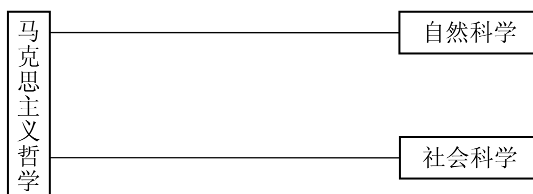


图 3

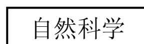


图 4

从 1780 年情况的图 4 到 1850 年情况的图 3，再到 1890 年情况的图 2，最后到现在的图 1，这是科学技术体系的发展、演变，所以科学技术体系学不但研究一个时期的情况，即“现象学”，还要研究不同时期的变化，即“动力学”，科学技术体系学也包括科学技术近代史。所以科学学也包括科学技术近代史。

既然包括历史，那将来呢？科学技术体系不会发展到现在就停下来，将来的科学技术体系也不会就象图 1 那样固定下来。例如，现在已经出现了苗头的系统科学和思维科学,将来很可能上升到科学技术体系中两个新的大部类学科。

三

赵红洲同志《红旗》杂志的文章[4]一篇讲社会的科学能力的文章。他讲了科学家队伍的集团研究能力，实验技术装备的质量，图书-情报系统的效率、科学劳动结构的最佳程度和全民族的科学教育水平等五个方面，我想这些内容都属于一门可以称为科学能力学的一个科学学分支，它是专门研究科学技术研究力量的形成，研究科学技术研究的内在规律。因为是内在规律，科学技术组织内部的关系，所以我认为它是相对独立于社会制度的。这个情况类似于生产力经济学，生产力经济学[5]研究生产中的两大因素人和生产工具，以及他们的组织管理，它有别于政治经济学，是不直接受社会制度影响的。

所以对科学学的这一个部分，科学能力学，我们可以吸取资本主义国家几百年来实践的经验，并由实践经验总结出来的一套规律，为我所用。当然，有些同我国社会主义制度“接口”的问题，我们要谨慎，要处理好。

科学技术研究的内在规律中有一个非常重要的问题，科学革命的问题。这是美国科学家T. S. 库恩[6]首先阐明的一个概念：说明科学理论的发展也正和一切事物一样是一个从量变到质变的过程。一门科学一旦有了系统的理论就进入正常发展的阶段，大量的实验和理论分析，不断充实原来的理论，理论又见诸实际应用，实践结果又提出新的研究课题，要求科学家去解决。这都大体上是量的累积，

原来科学理论框架显得更加牢固了。但就在这一阶段的量变中，也隐藏着与原来理论规范相矛盾的东西，随着研究的进展，矛盾逐渐显露，也会有些不损害原来理论的小修补。可是矛盾终于无法克服，引起激化，大家都有了科学危机感，这时就会出现一个新理论来取代原来的理论，形成一次质变，一次科学理论的飞跃。当然新理论总是吸取了原来理论的成果，包含了原来的理论，是人们认识客观世界[104]漫长过程的一个新的驿站。这种质变就是科学革命；例如，从天体日心运动学说到牛顿力学，氧的发现代替了燃素论，相对论又代替了牛顿力学，量子力学的创立等等。我们早就认识到这些事例都是科学史上的伟大变革，是推动科学技术发展的一股强大动力，所以科学革命是科学技术研究中一个极为重要的内在规律，而研究科学革命是科学能力学的一项重要任务。

组织科学技术队伍中的一个问题是充分调动每一个成员的劳动积极性，而这在我们社会主义制度中就必须做到按劳分配。要按劳动的贡献来分配就又必须对科学技术研究工作的价值作出准确的评价。决不能“平分”，“吃大锅饭”。这是一个对脑力劳动成果定价值的问题，在以前好像还没有认真研究过，现有的只是各种奖金，国家的科学奖金，国家的发明奖，各部门的成果奖、技术革新奖等。有一点是可以肯定的，即科学技术研究成果的价值，因此按劳分配所必须的成果评价不大可能在脑力劳动一个阶段结束后立即作出，有时甚至要相当长的一段时间才能准确准确评价。从这一点来说，奖金是科学技术工作中按劳分配的好办法。但现在奖金值往往是事先分级定值，而定级颁发又缺一套科学的方法，所以这个方法还很不完善。改进科学技术奖金制度，以致再进一步研究在科技工作中按劳分配的问题也是科学能力学的一项重要任务。

四

科学学的又一个非常重要的内容是科学技术与生产力，科学技术与上层建筑的相互作用，这当然是与社会制度密切相关的，可以称之为政治科学学。科学学的这一个分支只有用马克思列宁主义的理论为指导才能取得研究成果，这是不能引进资本主义国家现成的研究结果的。例如现在国外有人[7]单纯地根据统计资料得出结论说：科学技术的兴盛时期从意大利转到英国，又从英国转到法国，从法国转到德国，现在在美国，但一国科学技术兴盛期只有 60 到 110 年，因此 21 世纪又该另一个国家了。这种完全不考虑政治经济因素的统计游戏，能有什么深刻的意义呢？

我们遇到的一个重要问题是科学技术与生产力的关系。一般讲科学技术是生产力，但是不是直接生产力呢？直接的生产力是人和生产工具[8]，所以科学技术

要成为生产力还要通过人或生产工具，以及用科学技术来更好地把人和生产工具组织到生产过程中去。也就是要用科学技术武装人，要用科学技术设计、制造更好的生产工具，要用科学技术提高生产组织管理水平。这是要能动地推进的，不是自然而然的，科学技术不会自己变成生产力。这是我国目前的一个大问题，[105]大量科研成果用不到实际生产中去[8]。这就需要改革经济管理制度。

与这个问题密切相关的问题是科学技术研究的经费到底应该占工农业生产总值百分之几？我国现在的比例是不到 1%。当然，如果成果弃而不用，也许比例还可以减。如果科研成果能迅速用来革新生产，发展生产力，那这个比例还要大大增加。在我国现在实际情况，究竟用什么比例为宜，应该研究。

政治科学学的一个重要理论问题是搞清技术革命这个概念，技术革命是毛主席在 1969 年的一个批示上提出的，毛主席说要区别技术革新和技术革命，后者是指技术上的重大变革，如蒸汽机、电力，现在的核能。蒸汽机的出现推动了产业革命，电力的出现进一步大大发展了生产力，把资本主义推向垄断资本主义。两次历史上的技术革命都极大地提高了社会生产力，使资本主义的生产关系和上层建筑更加不适应于生产力的发展。现在的核能技术革命也必然如此，现在正在进行的一场电子计算机技术革命也只能是如此，那里会有什么矛盾的缓和？那里会有什么社会主义革命过时的道理？但是帝国主义的帮凶们却高唱什么科学技术革命，什么第二次产业革命，第三次产业革命，好像第一次产业革命出了科学的社会主义，而现在第二次了，甚至第三次了，要出什么别的了，妄想骗人说马克思主义不灵了。那个社会帝国主义也鼓吹科学技术革命，为其霸极主义找口实！我们一定要用技术革命的理论来戳穿这些家伙的鬼把戏，指明革命的光辉前程。这是政治科学学的一项重要任务。

我们当然不能只看到科学技术对生产力发展和上层建筑的推动作用，也要看到上层建筑对科学技术的反作用。这是政治科学学的又一个重要研究课题。例如在资本主义国家科学技术研究活动的社会化与资本主义生产资料私有制和由此而产生的社会制度的根本矛盾，时时刻刻阻碍着科学技术的发展。在他们那里科学技术越发展，就越社会化，就越同私有制发生激烈的冲突，这是他们不可挽救的死症。

这就是说对科学技术来说，社会主义制度也是无比优越的。当然在我国现在也不是没有问题，钱三强同志就指出过我国科学技术工作中存在的许多问题。[9]政治科学学要研究这方面的问题。

在国外，科学技术工作总是被认为只有专业人员才能干，广大人民群众是被排除在科技大门之外的。但对我们来说科学技术的泉源是人的社会实践。因此亿

万人民的实践经验决不能忽视，即便是点滴的看法，一个小小的建议，都应该得到专业科技人员的认真分析，其中有可能蕴育着客观世界中还未被认识的事物。

科学技术史上有那么多偶然的发现该给我们启发了吧。这种正确对待人民群众实践的态度是我们所特有的，是社会主义制度下科学技术活动应有的一个特点。[106]

社会上层建筑对科学技术活动的又一重要影响是军事科学技术研究在整体科学技术研究中所占的比重。据一个统计资料，现在世界各国每年用于科学技术研究和研制的费用大致是 1 500 亿美元，军事方面的占 24%，航天技术占 8%；其实这两者都是军事性质的，一共是 32%，差不多是全部费用的 1/3。基础科学研究才 15%，不到军事性质的一半。医疗卫生才 7%，农业研究才 3%。以上还是世界的平均，在苏联和美国，军事科研的比重还会更大。这是我们研究科学学必须注意的一个方面，也是政治科学学的一大课题。

五

上面讲了马克思主义的科学学三个方面的研究或三个分支学科：科学技术体系学，科学能力学和政治科学学。我们是把科学学研究的科学技术社会活动从近代科学算起的，因为只从意大利文艺复兴以后，科学技术才具有我们现在所说的概念。当然，近代科学技术以致现代科学技术都吸取了古代科学技术的成果，所以研究古代科学技术史也是必要的，但那也许不属于我们所谈的科学学的范围了。

为了预见科学技术活动的进一步发展，我们在前面讲科学技术体系时谈到要研究科学技术体系的未来。但整个科学技术活动在未来社会中的情况，又是一个更全面的问题，它涉及到人类社会的未来，是另一门社会科学，未来学的研究范围。

原载《科研管理》1980 年创刊号。

参考文献

[1] 钱学森：《科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学》，《哲学研究》. 1979 年第 1 期，第 20～27 页。

[2] 于光远：《谈谈科学学》，龚育之：《马克思主义与科学学》，王兴成：《试谈科学学的研究对象和内容》，《自然辩证法研究会通信》. 1979 年 7 月 25 日。

[3] 钱学森、许国志、王寿云：《组织管理的技术——系统工程》，《文汇报》1978 年 9 月 27 日，第 1、4 版。

[4] 赵红洲：《试论社会的科学能力》，《红旗》1979 年第 4 期，第 64～72 页。

[5] 于光远：《关于建立和发展马克思主义“生产力经济学”的建议》草稿。
[6] T.S.Kuhn，*The Structure of Scientific Rovolutions*，Univershy of Chicago Pressr，（1970）。
[7]汤浅光朝：《科学活动中心的转移》，赵红洲译，见《科学与哲学（研究资料）》1979 年第 2[107]期，第 53～73 页。
[8]任涛、祝善训：《从推广科技成果看改革经济管理体制的必要》，《人民日报》1979 年 8 月 9 日，第 3 版。
[9] 钱三强《赶什么？怎么赶？——国外科技工作随感》，《北京科技报》，1979 年 4 月 20 日，4 月 27 日，5 月 18 日，7 月 6 日，7 月 27 日，8 月 10 日。

科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学

钱学森

对于如何加速发展我国科学技术，大家议论很多，有许多文章，我读了也很受启发，很受教育；也促使我思考这方面的问题，也就是如何把人从社会的生产斗争、阶级斗争和科学实验这三项实践所总结出来的学问，包括自然科学、社会科学和工程技术，按照马克思列宁主义和毛泽东思想的立场、观点和方法，组织成为一个科学的、完整的体系的问题。这当然是个大问题，要解决这个问题无非为了能更好地掌握现代科学技术的规律，能动地推动我国科学技术的高速发展，实现四个现代化。但我知道的很不够，有些看法，也并不成熟，现在把它写下来，提请同志们讨论，批评指正，以便把问题搞得更清楚些.

系统和系统工程

就先从工程技术说起吧．其他工程技术大家熟悉，现在专讲系统工程。

什么叫系统？系统就是由许多部分所组成的整体，所以系统的概念就是要强调整体，强调整体是由相互关联、相互制约的各个部分所组成的。系统工程就是从系统的认识出发，设计和实施一个整体，以求达到我们所希望得到的效果。我们称之为工程，就是要强调达到效果，要具体，要有可行的措施，也就是实干，改造客观世界。

这样一说，系统和系统工程是普遍的，是我们经常在做的。哪一件事物不是由各个部分组成？我们办事不是总在协调各个部分的关系、要求较好的效果？那为什么近 30 年，特别是最近 10 年才大力发展系统工程这门技术？理由可能有两个：一是现在一件事的规模和复杂程度都大大超过以前，花在协调各部分的工作量是很大的，要给以重视，要有专业人员；二是也因此有必要纠正近代科学发展约 400 年来盛行的形而上学地看问题以及分割各部分的习惯，强调照顾全局、辩证统一的观点。当然光有愿望击发展系统工程，如果没有工具也不行。这就有必要指出系统工程的理论工具是运筹学，计算工具是电子计算机，两者都是 30 年来的科学技术成果。因此，今天加速发展系统工程[1]的条件是基本具备了的。[109]

我们说基本具备，也就是有不具备的地方。有一类系统工程[2]如工程体系的系统工程、生产企业或企业体系的系统工程、军事系统工程、后勤系统工程、资料库系统工程等是具备加速发展的条件的。但也有另外一类系统工程，主要由于作为该系统工程基础的、研究该事物运动和变化的规律的学问还不够完善或甚至还未建立起来，加速发展这门系统工程就有困难，我们首先要努力把事物本身的规律搞清楚。

医学就是一个这一类的例子。医学怎么也成了一门系统工程了呢？请问：我们不是要创造中医西医结合的我国新医学新药学吗？讲中、西医结合就是要强调中医学术中的整体观念，辩证论治思想，治病要人、病、证三结合以人为主统筹考虑。这就是要把人体作为一个复杂的体系，还要把人和环境作为一个复杂的体系来考虑。这就说明医学是系统工程，新医学新药学必须建立在这个观点上。但要具体去做，我们还需要大大加深生理科学的知识。我们要遵循中医从几千年实践总结出来的脏象、气血、经络等学说作为指导，一定要有这样一个思想基础。但不能停留在中医已经建立的理论上，不然怎么能进一步发展呢？我们要用现代科学技术为手段[2、3]，大力开展生理科学的研究，真正把人这个对象搞清楚。事物本来是辩证的，生理科学的深入研究，必然会克服过去片面性、形而上学的缺点。近年来对神经—体液（如下丘脑分泌）以及生物电的研究都说明这样一个趋向。所以建立我国新医学新药学的途径是组织并培养我国生理学研究力量，成倍地扩大和加强这支队伍，大力支持这方面的工作。

再举一个例子。保护一个健康的生活环境是一门技术，环境系统工程，它包括了人的生活活动，工业生产，农业、畜牧业、林业、渔业的生产，自然条件、气象变化等各个方面。这当然是一门要十分重视的系统工程，但要加速发展这门系统工程，也遇到对环境学[4]这个学科研究不够的困难，所以要大大加强对环境运动和变化规律的研究。建立环境学研究机构和培养环境学专业人员是很必要的。

教育工程

让我们再把系统工程的范围扩大一些，讲一讲教育的问题。

教育是实现四个现代化新的长征中的一件大事。但是教育的学问作为一门科学来看待还是近来的事，因此我们还面临着组织建立起严密的、精确的教育科学技术的任务。

教育还有技术吗？有。有同志已经提出创立教育工程这门教育科学技术，这是很好的建议[5]。但我认为教育工程不是泛泛地讲什么“培养人才的工程”，我们应该实事求是地把教育工程看作是一门技术，一门组织管理一所学校、一座高[110]

等院校、一个国家的教育体系（包括幼儿园、小学、中学、大学、中技校、业余学校、各种干部学校等）的技术。教育工程也是一门系统工程。以一座理工科高等院校论，全校可能有 1 万多人，有十几个系，每个系又有若干专业；不但要教学生、教研究生，而且要开展大量科学研究工作，并通过研究工作来不断培养新的教师和提高现有教师的水平；有办公室与住房；有教室和教学设备，包括电化教学设备；有实验室；有维修车间、有工厂；有生活设施，食堂、商店，以及银行、邮局、电话站等等。这一切难道不是一个庞大的系统吗？而且这样一个系统还在不断地变化；科学技术在前进，教学和科研也要跟着变，系的组织也不断调整，实验室要改建。这样一座高等院校同一个工业企业不是很相像吗？建立、不断充实和办好这样一所学校，不同经营一个工业企业不相上下吗？在国外，知名的大学的组织管理都要用有组织能力、有管理经验的人来办，所使用的一套方法也同大企业一样。当然，幼儿园、小学、中学等学校规模要小得多，但数量多，由他们所组成的体系却也是一个庞大的系统。所以教育事业是规模宏大而内容又复杂，组织管理教育事业要用系统工程的办法，是一门技术。教育工程也要用运筹学和电子计算机。

教育工程的理论基础是什么？要实施教育就必须掌握教育的规律，而教育的规律从何而来？不能靠主观想象，要靠总结经验，也就是要把人类社会的教育事业作为社会活动的一个方面来研究，发现其中固有的规律。我想这就是教育学。所以教育学是教育工程的主要基础，前者是科学，后者是技术。教育工程当然还要依靠许多其他学科，如运筹学、经济学等。

教育学是一门社会科学，因为教育学的研究对象是社会活动的一个方面，就如经济学是研究社会经济活动规律一样。是社会科学就有阶级性。我们搞教育是要培养有社会主义觉悟的有文化的劳动者，包括工人、农民和宏大的无产阶级知识分子队伍。资产阶级搞教育是为了培养足够多的资产阶级知识分子队伍，地主阶级搞教育是为了培养封建知识分子。当然各个阶级的教育学中有一部分是共性的，那是反映人学习的客观规律的，即反映生理学和心理学的学习规律，这一部分我们的教育学也要吸取。但我们的教育学总不能把“大成至圣先师”的那一套全部搬过来。

我想无产阶级的教育理论虽然马克思、恩格斯、列宁和毛主席已有不少阐发，但我们仍然面临着一个学习、整理的任务，而且要在此基础上写出我们的教育学。以前的书（例如凯洛夫著的《教育学》）是不能令人满意的。为此组建专门的研究机构就很有必要了。[111]

科　学　学

我们已经讲过[1]科学技术研究的组织管理是一门系统工程，称为科研系统工程。特别由于现代诸如核能、高能物理、航天技术、空间科学等“大科学”的兴起，这一点已是不必怀疑的了。但是要加速开展科研系统工程的工作，建立这门技术还有两个问题要搞清楚：一个问题就是科研系统工程和科学学的关系。在国外，科学学是搞得颇为热烈的，但是应用技术和科学理论不分，内容庞杂，不成其为一门严肃、严密而精确的科学。我认为应该首先把技术和科学理论区分开，也就是把那一部分属于科学技术研究的组织管理技术分出来，明确科学学是科研系统工程的一个主要基础，是科学，不属技术。讲组织管理科学技术的研究就不是科学学，而是研究系统工程，而这除了要运用科学学之外，还要引用经济科学以及其他有关科学技术。

第二个问题是：把技术分出去之后，科学学该是什么样一门科学了呢？我同意查汝强同志的看法，就是把科学技术的研究作为人类社会活动的一个方面来考察，研究和总结其运动变化的规律。既然是研究社会活动的一个方面，科学学是社会科学，不是自然科学。是社会科学就有阶级性，我们要看到国外在科学学的工作中有不少错误的观点。这我们不能学。我们要在马列主义、毛泽东思想指引下，从理论上概括科学史研究的成果，分析各国科学技术研究的现象，总结我国科学技术工作的实践经验。

因此，马克思主义的科学学不是现成的，而是要我们努力去创建的一门科学。我们面临的任务在其艰巨性方面，决不亚于马克思当年研究政治经济学。当然时代不同了，马克思几乎是孤军奋战，而我们则可以建立一个研究所，并发动全国有关力量，浩浩荡荡向科学学进军。我们一定能在不长的时间内，取得较大的成果。

这样大张旗鼓的搞，是不是太过分了呢？我认为不是。实现四个现代化，提高科学技术水平，开展科学技术工作是个关键，但这又必须大大提高我们组织管理科学技术研究工作的能力。我们大搞科研系统工程是对的，但科研系统工程的基础之一的科学学还未建立，这当然是非常紧急的情况，应该立即采取措施。

科学技术体系学

恩格斯有一段非常精辟的话，他说：“一个伟大的基本思想，即认为世界不是一成不变的事物的集合体，而是过程的集合体，其中各个似乎稳定购事物以及它们在我们头脑中的思想映象即概念，都处在生成和灭亡的不断变化中，在这种变

化中，前进的发展，不管一切表面的偶然性，也不管一切暂时的倒退，终究会给自己开辟出道路。”他接着又说：“事实上，直到上一世纪末，自然科学主要是搜集材料的科学，关于既成事物的科学，但是在本世纪，自然科学本质上是整理材料的科学，关于过程、关于这些事物的发生和发展以及关于把这些自然过程结合为一个伟大整体的联系的科学。”[6]恩格斯在这里讲出了一个非常重要的事实，即新的学科会不断产生，然后发展，而老的学科又会消亡。吴征铠同志讲：“所谓消亡，并不说这些知识没有了，而是要上升到新的分类才有利于人才的培养，才符合客观发展的需要。”[7]这是很对的。我们切莫把学科看为一成不变的，但这也是原则同意容易，而具体实行又有困难。

在上面所引的恩格斯的话中，他还强调了自然科学的整个体系，认为这是科学进一步发展必然要出现的。我们在今天读这些论述，有三点要考虑：一是从恩格斯紧接着举出的关于动物植物过程的生理学，关于胚胎发育过程的胚胎学，关于地壳逐渐形成过程的地质学来看，100 年前的自然科学体系比起现在要松散得多，也有许多空缺和断开的地方，很不完整。二是他只讲了自然科学，没有包括社会科学。这是因为真正科学的社会科学还刚刚由马克思和恩格斯创立，还来不及纳入整个科学的体系。三是恩格斯在这里还没有涉及工程技术，因为当时工程技术才刚刚被认为是同自然科学有联系的，是以自然科学为理论基础的。由于这三点，我们当前的任务是如何把恩格斯提出的“伟大的整体的联系的科学”完整起来，它要包括自然科学、科学的社会科学和工程技术，也就是建立科学技术体系学，研究其组成部分的相互联系和关系，学科的产生、发展和消亡，体系的运动和变化。研究和发展科学技术体系学的目的就是用它来帮助组织管理科学技术工作，制订规划、计划。因此科学技术体系学也是科研系统工程的一个理论基础，就象科学学是科研系统工程的理论基础一样。

在建立科学技术体系学中，第一步考虑的问题是大体上的构成。前面已经讲了三个组成部分：自然科学、科学的社会科学和工程技术。前两部分的划分是大家所熟悉的，只不过我们在本文以前的章节提出了两门科学的社会科学的新学科，教育学和科学学。需要说明的是工程技术为什么独立分出来成为一个部分。这是因为工程技术的实践总至少带上一点经济上的因素，例如就连医学（在上文是作为一种工程技术看待的）也是如此。吃药治疗，一点不考虑花费，恐伯不行；至于土木建筑工程、电力工程、水利工程、航空工程、造船工程等等都得考虑经济因素和社会目的。我们在这些工程技术的高等院校专业课程中，有一门从前叫工业企业管理的课，或技术经济的课，这不就是证明吗？至于各门专业的系统工程，社会科学更是其重要的理论基础，与自然科学一样重要。更大范围的组织管理，

如国家社会主义建设的全盘组织管理和规划计划，也就是有叫做“技术经济和管[112]理现代化”而我们建议叫“社会工程”[8]的，在那里科学的社会科学尤其重要，所以科学的社会科学也是直接生产力。由此看来，工程技术不能纳入自然科学，也不能纳入科学的社会科学，只能在科学技术体系学中单独成为一个部分。

如果说只有三个组成部分，就又出现技术科学归到那一部分的问题。什么是技术科学？技术科学是以自然科学的理论为基础，针对工程技术中带普遍性的问题，即普遍出现于几门工程技术专业中的问题，统一处理而形成的，如流体力学、固体力学、电子学、计算机科学、运筹学、控制论等等。20 年前我根据技术科学在性质和研究方法上与自然科学有所不同，曾把技术科学和自然科学、工程技术分开，作为三个部类[9]。现在看，把技术科学分出来还是对的，而且更有必要了，因为有些技术科学如运筹学、控制论还用来处理经济领域中的问题了，超出了自然科学的范围了。

所以科学技术的体系得有四个组成部分：自然科学、科学的社会科学、技术科学和工程技术，工程技术综合应用前三个组成部分的成果，直接改造客观世界。

我们在这里还要说明数学的特殊地位。数学不能归属于体系中的上述任何一个组成部分，但它又在每一个组成部分的每一般来说门学科或技术都有用，都离不了它。说数学是“科学技术的皇后”是有理由的。其所以如此是因为科学技术是客观世界在人脑中的映象，而组织这个映象靠思维，数学则是被认识了的人思维规律系统化了的学问，它的重要性自不待言。所以科学技术的体系应该是四大部分加数学。

以上仅仅是科学技术体系学结构的极粗糙的轮廓，我们还要进一步仔细地考察它的构造，现在有研究工作的活的学科，数目总有 1 000 以上，把它们按四大部分和数学的分类，一一排上位置。再下一步是研究学科之间的相互关系，例如要搞高能物理，对其他物理学学科，对化学，对电子学、计算机科学技术，对电工学和电力工程，对机械工程，对化学工程等等有什么要求？我们要靠这张相互关系表来制订科学技术规划、计划。有了这一步的研究，还是科学技术体系学的“现象学”，还不到研究科学技术发展的“动力学”，要研究动力学还需要深入分析现象学。从而发现任务多的重点学科，那是要加强的；要找出有重要任务而现在无人搞的学问，那是要建立的新学科，也要确定将要消亡的学科，以采取力量转移的措施。

这里我们提到科学技术每一门学科每一门技术的研究任务，但学科研究任务究竟是怎么来的？总不该随心臆想。任务的来源旨先是国家社会主义建设的总规划、总计划。这往往首先对工程技术提出要求，例如国家农业现代化、工业现代

化和国防现代化，对各门工程技术都会规定任务。然后各门工程技术对技术科学、对自然科学、对科学的社会科学提出任务，也会对数学提点任务。任务的再一个来源是学科本身发展的需要，如高能物理的研究任务现在就不会来自农业现代[114]化、工业现代化或国防现代化，而是自然科学本身发展的需要。

当然，我们研究科学技术体系学还必须考察自从 19 世纪中叶以来，这个体系产生和发展的历史。历史会给我们启示。

马克思主义哲学

有了科学技术体系学，可以有很多用处。但综合工作还没有做到底，我们要问庞大的现代科学技术体系，包括自然科学、科学的社会科学、技术科学、工程技术四大部分和数学，最后提炼成一门什么样的理论呢？是人类实践最概括的总结，这就是马克思主义的哲学。因此，科学技术发展了，作为它的理论概括的哲学也必然随着要发展。作为马克思主义哲学家来讲，无非有两种情况，一种是自觉地、主动地跟上，另一种是不自觉地、被动地跟上。跟总是要跟上的，区别仅在于矛盾激化的程度。

历史上哲学的发展中，哲学家们以被动方式接受新发展的居于多数，所以每次科学技术的重大进展都对哲学引起强烈的冲击。哥白尼发现地球和行星绕太阳运行，对哲学不是引起了强烈的冲击吗？以后每一次科学技术重大发展不都爆发了一场唯物主义对唯心主义的论战吗 7 就是到了马克思主义哲学已经建立之后，不还是这样吗？电子的发现不是如此吗？记得相对论创立后的情景吧！电子的发现和相对论的创立没有被马克思主义哲学家抓住，用来发展哲学，反而被唯心主义哲学家歪曲为反马克思主义哲学的口实，这是令人遗憾的。直到现代，20 世纪 50 年代以后，我们的哲学家还有些被动，例如控制论出现后，对哲学的冲击很大。这一浪刚刚过去，又来了电子计算机，出现了所谓“人工智能”，对哲学又一次冲击。人工智能或机器思维的问题最近陈步同志讲得很好[10]，但现在这一浪还没有过去，我们的同志还有反对说“电子计算机能代替人做一部分脑力劳动”的！

也有一些同志不大愿意说数学和物理学是基础自然科学中更为基本的学科，理由是物质运动是有层次的，每一个层次的运动有其特殊性，微观与宏观，死的与活的，要有区别呀。我们完全同意物质运动是有层次的，微观与宏观，死的与活的要有区别，但有区别并不是说界限是铜墙铁壁，不可通过。例如：我们用统计力学的理论就可以从微观运动过渡到宏观运动，从微观运动的规律得出宏观的热力学定律，并且得出微观运动中不出现的概念，如温度、熵等，从而打通了从微观到宏观的道路。再如，现在分子生物学的研究也正在打通从物理和化学到生

命现象的道路，从死的到活的。这些例子很值得我们深思。找到不同层次物质运动的联系，并没有否定各层次物质运动的特性，而是使我们对他们的特性认识得更加深刻了。[115]

所以总结近一百年来的历史教训，我们认为马克思主义哲学是有其崇高的位置的，但是，哲学作为科学技术的最高概括，它是扎根于科学技术中的，是以人的社会实践为基础的；哲学不能反对、也不能否定科学技术的发展，只能因科学技术的发展而发展，不然岂不僵化了吗？哲学家们要看到今天自然科学、科学的社会科学正处于重大突破的前夕，正酝酿着一系列技术革命，所以要力求主动，不断吸取新科学新技术的成就作为发展马克思主义哲学的素材。在这里我想提出现代物理学与哲学的密切关系的问题：前面举的好几个事例已能说明些问题，最近理论物理规范场论的研究更应引起马克思主义哲学家的注意，这些理论实际是在对宇宙的性质作深入的分析。例如根据这些理论研究，相对论的等效性原则（principle of equivalence）是和量子引力场论联在一起的；又如强子的量子色动力学（quantum chromo-cynamics）发现所谓零能量真空是有丰富内容的；再如超对称场理论（supersymmetry）对超引力场（supergravity）的研究导出了原来相对论中不能确定的宇宙论常数（cosmological constant）；等等。因此这方面的科学家应该组织到哲学的研究中来。其实，在本世纪杰出的理论物理学家如A·爱因斯坦和W·泡利，尽管有他们的局限性，都对自然辩证法的发展做过贡献。

事物的另一面是：马克思主义哲学作为科学技术的最高理论，就必须用来指导科学技术的进一步发展。这一点是革命导师们所多次讲过的。所以，自然科学、数学、以及技术科学、工程技术都必须以自然辩证法为指导。这一条原则我们一定要遵守，这大概无人反对。但是目前也有一个口号，叫做“科学无禁区，有禁区就不是科学，就没科学。”在科学技术历史上，由于不尊重马克思主义哲学而犯错误的事是很多的。例如百余年来微观世界的研究中，自然科学家多次讲已经达到物质结构的极限，在当时也看起来好象是极限，不能再分了；但他们不知道这是违背自然辩证法的，以致一次又一次地被迫承认错误！而列宁却在 70 年前就根据马克思主义哲学断言电子也是不可穷尽的，现在物理研究也走到研究电子结构的大门口了。这一反一正的经验不是很能说明问题吗？但就在目前也有同志感到用马克思主义哲学的指导科学研究很别扭，例如要搞“大爆炸宇宙学”，说宇宙有起点，而且具体推算出来了，就是从现在倒数到大约 100 亿年，时间有了起点！并且说这是与“所有”已经观测到的资料不相违背的。但这样的结果却不是违反宇宙无限性的哲学原则吗？实际上推论的方法也无视宇宙，在星系以上还有更高的层次，因而也违反物质结构往小往大都有无穷层次的哲学原则。为什么对马克

思主义哲学这样轻视呢？更何况实际也已经在天文观测中出现了与“大爆炸宇宙学”相矛盾的苗头，我们应该谨慎从事呵。

所以我想对上面讲的口号加一个解释：科学是无禁区的，但首先要看那个“禁区”的区存在不存在，“有限宇宙”这个区是不存在的，“无层次宇宙”这个区也是不[116]存在的，就不要去找麻烦攻打这些海市蜃楼了。这也使我们联想起永动机的问题，以前总有一些同志说他发明了永动机，现在好了，出了那个“四人帮”在辽宁的死党做反面教员，没有人再说永动机了。但将来时间长了，怎么样？会不会又有人要破这个不存在的“禁区”呢 7 这就要看我们把马克思主义哲学的宣传教育工作做得如何了。

原载《哲学研究》1997 年第 1 期。

参考文献及注释

[1] 钱学森、许国志、王寿云：《组织管理的技术——系统工程》，《文汇报》1978 年 9 月 27 日。
[2] 杨国忠：《新兴的生物医学工程学》，《光明日报》，1978 年 7 月 23 日。
[3] 这里讲的实际是用现代化科学技术去解决生理学和医学的问题，还是生理学和医学。国外称这一部分科学技术为生理学医学之外的又一门新的“生理学医学工程学”，似不够妥当。
[4] 王华东、于濈：《对环境科学的初步认识》，《环境保护》1978 年第 1 期；陈传康：《环境问题与环境科学》，《环境科学》1978 年第 3 期；鲍强：《环境科学展望》，《光明日报》，1978 中 11 月 17 日。
[5] 敢峰：《试论教育工程》，《光明日报》1978 年 8 月 12 日；《再论教育工程》，《光明日报》1978 年 10 月 26 日。
[6] 《马克思恩格斯选集》第 4 卷，第 239～341 页。
[7] 吴征铠：《对学科划分和专业设置的一点意见》《光明日报》1978 年 10 月 27 日。
[8] 其实这个提法近年来已在一些资本主义国家中出现，涵义不园而已。
[9] 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》，1957 年第 4 期。
[10]陈步：《人工智能问题的哲学探讨》，《哲学研究》1978 年第 11 期。

自然辩证法、思维科学和人的潜力

钱学森

现在我国致力于研究自然辩证法的人很多，有专门的学术组织如自然辩证法研究会和分会，出刊物、开学术讨论会，气氛热烈。这是很可喜的，也是拨乱反正后的新气象。

人多议论多，大家各抒己见而一时统一不起来，也是常情；不久前《光明日报》对去年10月份在成都召开的全国自然辩证法理论讨论会的报道[1]，就说明这个现象。看了报道，也引起我的一些想法，本文就讲讲这些不成熟的意见，作为参加讨论；我想的也比较宽，不限于自然辩证法本身。当然这些话一定会有不妥或谬误之处，恳请大家批评指正。

一

什么叫自然辩证法？现在有些同志想把自然辩证法的研究范围扩大到远远超出恩格斯的原意，说这才是自然辩证法的现代化。例如他们要引入控制论、引入系统工程、引入科学学。其实控制论是技术科学[2]，系统工程是工程技术[3]，科学学是社会科学，怎么能都当作是自然辩证法呢？自然辩证法总不能无所不包地把现代科学技术的各个分支、新学科都吸收进去，如果那样，还有什么学科的合理划分和科学技术的体系结构了呢。

那么什么是恩格斯的原意？我想最好还是读一下1873年5月30日恩格斯致马克思的信[4]和《自然辩证法》(手稿)。在这封信里和《自然辩证法》正文里，恩格斯讲的内容只是辩证唯物主义的自然观，也就是用辩证唯物主义来观察自然界。再具体化就是物质和运动之不可分离，即物质是运动着的物质，而运动是物质的运动；再进而分析物质运动的不同层次以及层次之间的过渡，由此讲到学科的划分。概括起来就是这些内容。这就是自然辩证法的研究范围。至于《自然辩证法》中还有《札记和片断》其中讲到科学史，具体的学科，我认为应该理解为恩格斯写作时的准备工作，不能就认为是正文，不是一定要纳入《自然辩证法》的。因而科学技术史，科学技术体系学也不一定非作为自然辩证法来研究不可。这里我[118]认为我们要实事求是，不要在马克思主义导师们遗留给我们珍贵的手

稿里加上他们本来没有的含义。

再有一点应该引起我们注意的，是自然辩证法作为一门学问在整个现代科学技术体系中的位置。在恩格斯的时代为了建立马克思主义的哲学，必须吸取人类从全部实践，包括生产斗争、阶级斗争和科学实验的经验，精炼概括；这当然要涉及到白然界的辩证关系和社会的辩证关系。这就造成一种习惯，好像马克思主义哲学包括三个组成部分：辩证唯物主义，历史唯物主义和自然辩证法。但到了今天，马克思主义哲学已经确立了，我们应该把它的总论明确为辩证唯物主义；辩证唯物主义要指导自然科学和社会科学的研究，也要从自然科学和社会科学研究的新成果中吸取营养，不断丰富和深化马克思主义哲学即辩证唯物主义。当然这个关系也同样存在于马克思主义哲学和一切其他科学技术（这里科学技术包括社会科学）学问之间。这种交流要通过两道桥梁，一道桥梁是自然辩证法，是对自然科学的；一道桥梁是历史唯物主义（社会辩证法），是对社会科学的。不喜欢叫桥梁，称分论也可以；总之，辩证唯物主义与历史唯物主义和自然辩证法不应平列，后两者要在辩证唯物主义下面一点，而且它们又各有自己联系的一类科学技术。

前面讲的是今天应该做到的事，当然这是理想，实际并非完全如此。一方面马克思、恩格斯、列宁以后的一些自称为马克思主义的哲学家，并没有把科学技术的新成果用来丰富和深化马克思主义哲学，往往反而错误地去批判这些新理论，说是反马克思主义的。例如摩尔根遗传学和基因的发现，化学键理论的共振论，控制论，人工智能，电子计算机代替人的一部分脑力劳动等等都曾受到过某些批判。这些批判都被事实证明是错误的，必须全部收回。也许就因为有这些缺点，又引起另一方面的反应：有那么一些科学技术工作者不承认马克思主义哲学的基本原理对科学技术研究的指导意义，指责“伟大的科学家，渺小的哲学家”为一顶帽子，说去研究“彭加勒、马赫之后的科学家，在传统、精神、哲学等方面究竟有没有值得去虚心地学习的东西”是一块禁地，总认为我们这里不自由，从而对现在的资本主义国家的所谓学术空气却很向往。这样的争论有什么好处！

出现这两方面的情况是令人遗憾的，因为我们知道自从恩格斯写《自然辩证法》（手稿）之后，自然科学已经出现了翻天覆地的发展。相对论和量子力学早已确立而代替了经典力学；物质运动的层次，从微观世界里讲就增添了原子核、基本粒子、层子这三个层次，从宏观世界里讲也扩展到了星系、星系集和星系集的集团等新的层次。自然辩证法工作者和自然科学工作者本应携起手来，共同开发这块广阔的新园地，正好加深我们对物质运动层次无穷的基本认识。大家第一应该互相谅解，第二应该互相学习。自然辩证法工作者要认真学习科学技术，起码

学到高级科普期刊《科学》的水平。而自然科学工作者要认真学习哲学，当然也要看点[119]唯心主义哲学的书，有比较才知真和假。有了这个基础，两方面的同志就可以举行一个个领域的专题讨论会，如基本粒子物理、分子生物学、天文学等等。我很希望自然辩证法研究会能促进这件事。除了办讨论会之外，也办一些哲学进修班和现代科学技术进修班。为了同一理由，尽管中国社会科学院哲学研究所已经有自然辩证法研究室，在中国科学院建一个研究自然辩证法的单位也是适宜的。也不是要所有的自然辩证法研究者都集中到上述工作中来，还有许多事情可以做。例如在医科高等院校工作的自然辩证法同志可以同医务人员一起，研究中医西医的结合以促进医学发展的问题。又如爱好史学研究的，可以转而专门研究科学技术史。有的也许已经开展了科学学的研究，那也可以继续搞下去。有的有志于科学技术研究工作的组织管理，那就可以搞科研系统工程。

二

我们说自然辩证法是联系自然科学和工程技术的，历史唯物主义（社会辩证法）是联系社会科学和社会现象的。但这样讲也有一个问题：现代科学技术已经出现一些介乎两者之间的学问，即一方面是改造自然世界。而另一方面又是改造人类社会的问题。例如工程技术就总有经济方面的因素要考虑，而在新出现的一大类系统工程中，如科研系统工程、农业系统工程、企业系统工程、工程系统工程等，社会科学方面的因素就更为重要了。再如人口学、未来学、科学学那更是在自然科学和社会科学之间，两方面兼有的学科。

其实人类掌握了客观世界的规律的目的不仅在于适叵容现世界，更重要的是要利用这些规律去改造客观世界，而改造的方向就必然联系到社会，最终是改造我们的社会。前面列举的工程技术都是如此。我们可以举环境科学为例，它要涉及到生态系统，这是自然界，也要涉及到工、农业生产的结构，这就是社会了。我们也要注意把综合自然和社会两方面的科学成就和实践经验及时总结提高，概括到马克思主义哲学中去。

综上所述，我感到当前马克思主义哲学的研究应该把大约 100 年来现代科学技术，包括自然科学、数学科学、社会科学、技术科学和工程技术的极其丰富的成果加以提炼，用来发展马克思主义哲学。与此相比，去推敲过去哲学家们的著述，不能不说是次要的。向前进总比往后看更重要一些，也该多花些气力。

三

马克思主义哲学在辩证唯物主义这个总论下，除上面已经讲到的自然辩证法

[120]和历史唯物主义（社会辩证法）之外，还有另外两个组成部分：辩证唯物主义的认识论和辩证逻辑。这方面意见也不一致，也有一些自然辩证法工作者认为认识论和方法论都可以归入自然辩证法，因为研究自然科学离不了它们。但我看还是不归入自然辩证法为好，因为认识论和方法论并非自然科学所独有，其他学科也离不开它们；而且在现代科学技术中所用的研究方法也逐渐统一了，不能区分自然科学的方法论和社会科学的方法论。更进一步，我认为问题还不在于马克思主义哲学的这种部门划分，而在于现代科学技术的实践，正预示着更重大的变革：思维科学的出现。

引出这项变革的是电子计算机。电子计算机是毛泽东同志指出的由重大技术变革形成的技术革命[5]，它和历史上的蒸汽机、电力和现在的核能并列的技术革命。电子计算机怎么会引起思维科学这个问题呢？这是电子计算视作为技术革命的一个重要问题。

先要从现代数理逻辑的一个结论说起。这个结论是：所有用数理逻辑可以解答的问题，电子计算机都能解答。也可以换用通俗一点的话讲：凡是一位老师能讲清道理的事，老师能通过讲解教会学生去做，那老师也能教会电子计算机去做。去年《北京日报》报道[6]，北京地区的科技工作者把著名中医肝病专家关幼波教授治疗肝病的整套理论、经验都“传授”给一台电子计算机了。计算机能根据肝病的八个主型，三十六个亚型，以及具体病人情况来调整处方，大概可以开出两亿多个不同处方，而且每次都开得正确，得到关教授的肯定。这不就说明用数理逻辑可以解答的问题电子计算机也能解答吗？

当然这就要我们去研究如何用数理逻辑去解答问题，也就是第一，能不能得到答案；第二，用什么逻辑演算方法，如何一步一步算。研究这一门的学问，叫算法或算法论。当然，即便算法论说某一些问题能算，有算法，也不见得现在就有电子计算机能解答这个问题，困难在于算法太笨，用现有的最快最大的电子计算机算一万年也算不到结果。一个有趣的例子就是电子计算机下国际象棋：在美国目前最好的电子计算机棋手叫Beller，是贝尔电话实验室的两位科学家K. Thompson和J. Condon搞的，Beller在走棋子时能每秒检验 15 000 棋子位置，但在正式棋赛所要求的两小时走 40 步的速度下，胜不过人的象棋大师！Belle的评定是1 900 分（E级从 0 分到 1 199 分，D级从 1 200 分到1 399 分，C级从 1 400 分到 1 599 分，B级从1 600 分到 1 799 分，A级从1 800 分到1 999 分；能手从 2 000 分到 2 199 分，大师从 2 200 分起），而当前的世界冠军Anatoly Karpov的评分是 2 705 分。对棋的残局Belle的能力尤低，胜不过一般进入棋赛选手的一半，虽然在开局时能胜过 95%的选手。所以人到底比电子计算机强！据说电子计算机计算

程序的弱点在于不能从全盘敌我双方棋子的布局，通盘估算形势；而这在残局子少时，人的这方[121]面能力就十分突出[7]。人不是靠算，而是靠认出形势。

人的这种长处，也许就是我们说的智慧。这一对比，对电子计算机的专家，特别是软件工程师和软件科学家来说是一个很大的压力，促使他们问：能不能使计算机变得聪明点，不再那么笨？这就是所谓人工智能的研究。它是 50 年代开始的，经过 20 年的工作，我们现在已经知道要解决这个问题需要掌握的几个方面：第一是把问题的有关因素明确下来，因素之间的关系明确下来，也就是把问题在问题空间摊开，叫做问题的表达（Representation）；第二是开始找问题的解（Search），是从不知到知，因而是盲目的，所以往往结果是不成功的，不合格的；第三是从失败中认识到问题空间的某些特征，即图像识别（Patern recognition），找解可以避开不大会成功的途径；第四是学习（learning），即总结以前的经验；第五是程序（Planning），也就是把开始的盲目性变为有目的地去找解，这就大大提高求解的效率，最后也许计算机能达到一定程度的综观全局的归纳（induction）[8]。其实列出这几个方面只不过是一个工作大纲，具体工作还得一点一点做起。也还有许多细节以及重要环节没有列出，如从第二到第三、到第四都有一个记忆的问题，记忆就还有个语言问题。此外还有一门与人工智能共同生长起来的所谓“认识科学”（cognitive science[9]），也在研究这些课题。人工智能和认识科学是两门发展很快的现代科学。

这是从计算机的观点来看问题，要使机器更聪明些。当然还有另一个方面，那就是回过头来看看人脑，因为人脑是人的智慧所在，这就是神经解剖学和神经生理学所研究的对象。研究这两门科学是需要非常细致的工作的，实际上直到本世纪初才开始找到必要的工具。所以尽管脑的作用早就认识到了，但神经解剖学和神经生理学的大踏步进展还是近一、二十年的事。最近美国高级科普刊物 Scientific American[10]专门发了一期讲这件事。虽说有很大进步，但离了解大脑的全部功能还远得很，我们也许仅仅知道问题的概貌而已。人脑有大约几百亿个神经细脑元，每个神经细胞元又大概有几千个胞突接触，所以总起来人脑可能相当于一台有 10^{14}或 100 万亿个开关的计算机！但有一点和现在人造的电子计算机不同，神经细胞元之间的联结，看来不是完全固定的。一个人的大脑左右两个半球就不完全相同；决定人生长发育的遗传密码DNA也不能完全管到大脑结构的细节。这结构细节非常重要，它可以随着人的实践而改蛮、而发展。人比猴子聪明，这是先天的，但人的智惹看来却大部分是后天的。

再看又一方面的研究，心理学的发展也是如此。心理学已经过 100 年的曲折道路。我国心理学工作者在辩证唯物主义指导下，总结这百年的实践经验，认为

心理是脑的机能，是客观现实的反映，我们要防止心理学生物学化和心理学社会化的两种偏向；也就是说，是人脑这个物质的东西在思维，但思维的功能是受社会[122]实践影响的。这个结论[11]是同神经解剖学和神经生理学的结论完全一致的。一个宏观，一个微观，有总的相同看法，是令人高兴的。

经过以上几段的说明，我们看到不论从计算机的观点还是从人脑思维的观点，人之所以比现在的电子计算机强是可以理解的；或者说，我们认为人的思维过程是可以理解的。不但如此，而且有具体的研究途径，即通过四门科学，人工智能、认识科学、神经生理学（神经解剖学）和心理学。这个研究范围要比逻辑学广得多，它包括了人的全部思维，包括逻辑思维和形象思维。我们也可以称这个范围的科学为思维科学。

思维科学是一大类科学，除了已经讲到的人工智能、认识科学、神经生理学（神经解剖学）和心理学之外，还有语言学、数理语言学、文字学、科学方法论、形式逻辑、辩证逻辑、数理逻辑、算法论等。和思维科学有密切关系的还有数学、控制论和信息论等。这样，长期以来分散而又不相直接关联的学科就可以有机地结合成为一个体系了，而且从数理逻辑引入了精确性。这是由于电子计算机技术革命带来的现代科学技术体系结构的一个发展动向。如上所述，它把现在作为哲学的一个部门的辩证逻辑分化出来纳入思维科学，把现在有人作为自然辩证法一部分的科学方法论也纳入思维科学，而哲学的又一个部门，辩证唯物主义的认识论就作为联系马克思主义哲学和思维科学的桥梁了。这可以说是科学技术体系的一个重大改组。当然，这些考虑离开建立思维科学的体系还有相当一段路，比如上述各门学科之间的关系我们也不很清楚，周建人同志说思维先于语言文字[13]，这是对的，其他就知道得不多了。但如果我们积极推动这方面的科学研究，建立并加强各专门研究机构，那就可能不要等到本世纪末，思维科学的体系就可能建立起来。

四

发展思维科学的一个效果，就是原来研究人工智能的目的能实现了，造出更聪明的计算机，叫计算机代替人的脑力劳动的更多一部分，人就能从脑力劳动中更多地解放出来。也许有人要间，机器能够干的事越来越多了，那人还干什么？我想这不应该成为问题，人从比较简单的脑力劳动解放出来之后，人脑就去解决更难更高一级的题目，从而促使人脑向前发展。人类的历史不就是如此的吗？在原始社会人的脑子能想的事总比现在少些，我们现在的脑子总比我们的祖先的脑子好些吧。虽然我们不能一定说一个人的脑重就代替一个人的智慧，但平均的脑

重却代表脑的潜力。现在人的脑重就比我们的祖先重些。一个英国统计资料[13]说现代英国成年男性平均脑重1 424克，每年还在增长0.66克，现代英国成年女[123]性平均脑重1 242克，每年还在增长0.62克，都在增长。因此人的脑子还是在不断发展的，计算机可以因为思维科学的发展而造得越来越灵，能代替人的更多的脑力劳动，但计算机总是人造的，它总赶不上制造它的人。

发展思维科学的又一个效果是使我们懂得如何更充分地发挥人脑的能力。比如人脑有创造的能力，这不是逻辑推理而是思想的飞跃，是所谓“灵感”。当然灵感也是从实践经验的总结提高得来的，要不是从实践当中来，小孩子刚一生下来不就能灵感一番，就能创造了吗？没有这样的事。而且创造的能力、灵感，是无法说清楚和无法教学生的。

记得鲁迅先生就讲过他是怎么学习做文章的：说他的老师从来没有教过他文章怎么写，反正是天天写，写来写去，后来他说老师在他的文稿上画的红杠子慢慢少了，加圈多了，最后不改了，尽画圈了，这就叫学会写文章了。这说明人的脑力劳动中最深奥的是创造，而现在因为我们不了解创造性的过程，不了解创造思维的规律，无法教学生，只能让学生自己去摸索，也许摸会了，也许摸不会。如果我们发展思维科学，那就可能有朝一日我们懂得创造的规律，能教学生搞思想上的飞跃，那该有多好啊。

从辩证唯物主义来看，人胜于计算机，这也将是思维科学的一个结论。就在今天的西方国家，他们那里广泛地应用电子计算机来代替人的不少脑力劳动，但一说到领导决策，他们总是说不能靠电子计算机。王寿云、柴本良、陈宝廷等同志在《从领导艺术到软科学》[14]一文中认为这门学问，领导的科学，就是国外的所谓软科学。

我想，因为现在思维科学尚在幼年时代，软科学也不是真正的科学，领导的学问也处于从领导艺术转化为领导科学的过程中，领导工作的“艺术”成分还占很重要的位置。将来呢？将来思维科学发展了，领导工作中的一些思维规律搞清楚了，变成科学了；但人脑又向前发展了，领导艺术又会有新的、还未总结为科学的东西。所以软科学总有点“软”，“软科学”是个很准确的词。

五

前面讲的有关思维科学的事说明人的脑力劳动能力还有潜力，人还可以比现在更加聪明，具有更大的智慧。但我想这只是人的潜力的一个方面，我们还应该考虑其他方面。

一件要研究的事是我国从千百年来就流传不断的气功。气功有硬气功与软气

功两个分支。硬气功讲的是徒手断石板，赤身抗刀斧，软气功讲的是祛病保健。硬气功与体育有关，大家在电视节目中看到许多惊人的表演，可叹观止。但我看[124]这是一种精心设计的演出，也包括了一部分本来大家知道的力学原理，用得很巧妙罢了，这是可以用现代科学技术已知的理论加以解释的[15]。把这一部分从硬气功中分出去，那么硬气功和软气功就可以结合成一件事：人能通过有规律的、有意识的锻炼，用神经系统去影响人身的机能，即“练功”，逐渐发展一般没锻炼的人所不具有的身体机能，能“运气发功”。这个现象近来已得到许多科学技术工作者的注意，并作了初步的定量测试[16]；它也得到我国心理学家们的肯定，认为这为人的心理能动性反映在调整人体内部活动方面提供新的认识。所以气功说明人还有一般所不认识，也因而未加利用的能力，这也是人的潜力。

近两年还不断在报刊上载有关于 10 岁左右孩子能以耳认字、辨色，能腋下认字。对此有争论，有人不信，说是弄虚作假，有人信，说作了比较严格的测验，是什么因为人体有第七感受器[17]。我认为值得注意的一点是：具有这种功能的都是 10 岁左右的孩子，再小也不行，再大也不行。那这是不是因为太小了神经系统还没有发育到有这种可能：而岁数大大了，又因这种功能久久不用而退化、消失了呢？有争论不怕，应该深入下去，测试工作做得更严密、更全面些，一定要刨根问底。

这几件事都指出人还有潜力没发挥出来。我们可以反过来想想人现在的能力，不管是体力劳动的能力还是脑力劳动的能力是怎么从人的祖先逐步发展而来的。恩格斯在《自然辩证法》中有一篇《劳动在从猿到人转变过程中的作用》，这是大家所熟知的，这里的论点是劳动创造了人的世界，也在这过程中创造了人。但从猿到古代人，再从古代人到现在的人，改造人的过程不是人所自觉的，人没有能动地去挖自己的机体所具有的潜在能力。一切都是通过体力劳动和脑力劳动，自然而然、不知不觉地在进行的。那现在呢？今后呢？我想从现在开始，我们应该把这个过程从不自觉变为自觉，利用现代科学技术的工具和方法，从思维科学，从气功，从一切潜在的人体机能，去开发人的潜力。我们要建立专门的强有力的研究队伍，特别在生理学和心理学方面，目的是能动地去改进人的能力。现在我们有的同志说应该搞优生学[18]，但优生学比起我们在这里讲的就显得局限多了，太狭窄了。

我在这里讲气功，也讲了可能有的第七感受器的好话，是不是与恩格斯在《自然辩证法》中的《神灵世界中的自然科学》发生矛盾了呢？没有矛盾。我对那里的华莱士先生和克鲁克斯先生也是不赞赏的；不但如此，我对今天的华莱士先生和克鲁克斯先生也是不赞赏的。我想我们都应该努力按科学的态度办事，也就是

按辩证唯物主义办事，但要解放思想，切“不要把孩子和污水一起泼掉”。

毛泽东同志说过：“马克思列宁主义并没有结束真理，而是在实践中不断地开辟认识真理的道路。”从辩证唯物主义的观点来看，科学技术总是不断发展的，其内容和结构都在不断地丰富。因此现有的科学研究体制也不会一成不变：在我国[125]现在已经有了以研究自然科学为主的中国科学院，还有以研究社会科学为主的中国社会科学院，但联系到我在这里讲的和在另一篇文字[19]讲的，将来还应该设中国思维科学院，中国生理科学院和中国系统科学院。那大概是21世纪的事了。

原载《哲学研究》，1980年第4期。

参考文献

[1] 《自然辩证法研究中一些有争论的问题》.《光明日报》1979年12月30日。

[2] 钱学森、宋健：《工程控制论》修订版《前言》，科学出版社1980年版。

[3] 钱学森、许国志、王寿云:《组织管理的技术——系统工程》,《文汇报》1978年9月27日。

[4] 《马克思恩格斯选集》第4卷，第407～409页。

[5] 钱学森：《现代科学技术》,《人民日报》1977年12月9日。

[6] 《北京日报》1979年3月27日。

[7] “Chess4.7v Belle”《scientific American》，Vol 243 No. 3，P. 80，1979. 9；《科学》1980年第1期，第134页。

[8] ArtificiaL Intelligence”，Encyclopedia of Computer Science and Technology，Vol.2，Marcel Dckker，N.Y.

[10]《ScfenrfJfe American》. Vol.243，No.3，1979：9；《科学》1980年第1期。

[11]王极盛：《试论我国心理学的发展道路》,《哲学研究》1979年第12期。

[12]周建人：《思想科学初探》,《光明日报》1979年6月13日。一种解释说思维过程的内容是思想，所以本文用思维科学而不用思想科学这个词。

[13]J. A. N. Corsellis，A. K. H. Miller，Annals of Human Biology，Vol.4，p.253，参见New Scientist，Vol.75，p.719（1977.9.22）.

[14]见《自然辩证法通讯》1979年第4期。

[15]S. Feld R. E. Mcnair aod S. R. WilK，“The Physics of Karate”，Scientific Americon，Vol. 240,No.4，1979，4，p150～158.

[16]顾涵森．赵伟：《气功“外气”物质基础的研究》,《自然杂志》1979年第5、6期；张惠民《远红外信息治疗仪试制成功》,《自然杂志》1979年第7期；顾涵森等，《气功“外气”物质基础的研究——受意识控制的静电增量实验结果》,《自然杂志》1979年第10期；陶祖莱、林中鹏：《气功研究的现状和未来》,《力学与实践》1979年第3期；范良藻、薛明伦、谈洪：《气功与生物电异常》,《力学与实践》1979年第3期；《气功笔谈》,《自然杂志》1979年第11期。

[17]谢毓渝、王志秀：《观察谢朝晖用耳认字辨图辨色的小结》，四川省大足县联合考察组：《关

于唐雨耳朵辨色认字的考察报名》，陈守良、贺慕严、王楚、朱浤：《姜燕特殊感应机能的衰退与恢复》均见《自然杂志》1979 年第 12 期；罗冬苏，《为什么耳、手能辨色认字——再[126]谈人体第七感受器》，《科学园地》（天津市科协）1980 年 1 月 10 日及《光明日报》1980 年 2 月 13 日。

[18]《光明日报》1979 年 12 月 18 日。

[19]钱学森《大力发展系统工程，尽早建立系统科学的体系》，《光明日报》1979 年 11 月 10 日。

系统科学、思维科学与人体科学

钱学森

研究现代科学技术的发展，也自然会提出科学技术体系的结构问题[1]。在自然科学、数学科学和社会科学这三大部门之外，现在似乎应该考虑三个新的、正在形成的大部门：系统科学、思维科学和人体科学[2]。关于这三个部门，我在以前的几篇文章[2-4]中曾讲了一些初步看法，也得到了同志们对这些看法的意见。这些意见促使我进一步考虑这三大部门科学的发展和结构问题。在这里我将谈谈一些想法，请大家讨论，批评指正。

一

先说系统科学这个大部门。

以前我看到大力发展一类新的工程技术——系统工程的必要性，因而提议进一步发展和深入研究这类工程技术的理论基础。目前系统工程，除了与各门系统工程专业有关的专门学问，如工程系统工程的应用力学、机械设计、电力工程等之外，各专业系统工程的共同理论基础是运筹学；而今后进一步发展也要用到与运筹学相关的控制论。但是运筹学在现代科学技术体系中是紧靠工程技术实践的一般理论，属于我们称为技术科学的那类科学。技术科学是直接为工程技术服务的；也可以说实践经验的理论总结，首先达到的台阶是技术科学。控制论这一门 20 世纪前半叶从自动控制技术成长起来的新科学也是技术科学。但在技术科学这个台阶之上，应该还有一个台阶，即基础科学。在自然科学这个大部门中，例如物理学是基础科学，化学是基础科学。系统工程这类工程技术迈到运筹学以及控制论这一级台阶不会就停止不动，上面还有它们的基础科学，但什么是它们的基础科学呢？这是从现代科学技术体系这一观点或科学学[1]的观点不能不提出的课题。换句话说，也就是要建立系统科学的结构体系[3]。

关于系统科学的基础科学这一问题，我以前没有答案，而只是模糊地提问道[4]：运筹学的进一步精炼会不会出一门理论事理学？控制论（包括工程控制论、生物控制论、经济控制论和社会控制论）的进一步精炼会不会出一门理论控制论？[128]这种提法，只引起我们思索，而没有指明途径，不解决问题。

要有进展，我们必须从系统工程的范围中走出来，在更大的视野中去考察。

我们看到生物学界的发展，正如罗申（R. ROSEN）在不久前的一篇论文中[5]所讲的，18 世纪以来的近代科学发展，在自然科学的研究中占主导地位的是还原论和经验论的方法，或形而上学的方法，这在当时是一个伟大的进步，是对古人的反击和革命：古代人们直观地以有机物或神灵主宰一切．然而罗申似乎忘记了从神灵到拉普拉斯的机械论之间也曾有过古代的唯物主义和辩证法，近代科学方法是从古代唯物主义发展而来的。罗申指出，近代科学的这种只重分拆与实验的方法，在生物学的研究中，把生物解剖得越来越细，近四五十年更是攻打到了分子的层次。我们可以说把生命现象分解为分子与分子的相互作用，现在已取得了伟大的、惊人的成就，建立了分子生物学这门有非常充实内容的科学。但在这一发展面前，也有许多生物学家感到失望，我们知道得越细、越多，反而失去全貌，感到对生命的理解仍然很渺茫，好像知道得越少了。50 年前冯·贝塔朗费比较明确地认识到这一点，他开始所谓理论生物学（Theoretische Biologier，1932）的研究，要从生物的整体，把生物整体及其环境作为一个大系统来研究。冯·贝塔朗费还由此创立了他称为一般系统论（seneral system theory）的科学[6]。还把它应用到广泛问题的研究，例如研究人的生理，人的心理以及社会现象等。

一般系统论这一学科来源于生物学研究，是一个重要发展．王兴成同志在介绍它时[7]，把其基本原则归纳为一是整体性原则，二是相互联系的原则，三是有序性原则，四是动态原则。既然一般系统论是研究系统，一、二两条基本原则是容易理解的。三、四两条基本原则有些新鲜：它们来源于观察生物和生命现象。生物有一个有条不紊的构造，而且能有目的地生长和演化。这看来是生命所特有的。生物一死，构造立即开始破坏，生长和演化也立即停止，转入分解。所以一般系统论的核心是这后两条基本原则。冯•贝塔朗费等人，首先认识到这个生命所特有的现象与物理学中热力学第二定律说的不同：热力学第二定律说一个封闭系统（同周围环境没有能量和物质交换的有限大的系统）的熵只能增加，看来越变越无序，而不是走向有序。抓住这一点，一般系统论强调系统开放性，即系统要同周围环境有能量和物质的交换。

一般系统论的一个重要成果是把生物和生命现象的有序性和目的性同系统的结构稳定性联系起来：有序，因为只有这样才使系统结构稳定；有目的，因为系统要走向最稳定的系统结构。这个概念当然与现代科学中的控制论有关。

但是由于生物和生命现象的高度复杂性，理论生物学家搞一般系统论遇到的困难很大。几十年来一般系统论基本上处于概念的阐发，理论的具体和定量结果还很少。当然，他们抱的希望还是很高的，罗申[5]就说：“从演化的角度来看，[129]

生物学可认为是一部告诉人们如何有效地解决复杂问题的百科全书，以及解决这些问题中要避免的事项。生物学给我们提供了如何在大而成员各有不同的集体中进行合作而不是竞争的实例，从而证明这种集体合作是可能的、存在的。”（当然他在这里把合作和竞争割裂了，在生物界里，合作与竞争也是辩证地统一的。）

复杂系统中的结构稳定性代表着有序性，但这稳定性到底是怎么产生的呢？首先给出这方面线索的是普里高津（I，Prigogine）和由他率领的所谓比利时布鲁塞尔学派。他们在几十年的工作中，首先从平衡态热力学出发，研究了稍为偏离平衡态的热力学，从而得到处理一般不均匀物质中各种传递过程的理论。其中利用了昂萨格（Onsager）关于传递系数的对易定理。这就是由这个学派创立的非平衡态热力学。普里高津由此再向远离平衡态的方向推进。他发现只要化学反应的速度不是大到使分子运动的速度分布比起麦克斯韦平衡态分布有过分的畸变，那么线性传递关系，也就是输运流强与物态的空间梯度成线性关系，仍然是正确的，尽管现在传递系数必须作为局部物态的函数。这就使得他们的非平衡态热力学，可以推广到远离平衡态的情况。他们由此发现了远离平衡态的稳定结构，也就是所谓“耗散结构”（dispative structure）[8]。并认为耗散结构就是一般系统论中要找的具有有序性的系统稳定结构。他们的系统合乎理论生物学的规定：从热力学的角度来看，系统必须是开放的。系统本身尽管在产生熵，但系统又同时向环境输出熵，输出大于生产，系统保留的熵在减少，所以走向有序。布鲁塞尔学派的这些成就把理论生物学推进了一大步，使一般系统论的有序结构稳定性有了严密的理论根据。系统自己走向有序结构就可称为系统自组织，这个理沦也可称为系统的自组织理论。

二

但是只从热力学考虑问题，只从宏观研究问题，虽然可信，总给人以隔靴搔痒之感，不透彻。我们要深入到微观，从系统的每一个细微环节来考察全系统的运动。在这方面，从比较简单的系统做起的控制论，近中来有一个新发展，即巨系统理论。巨系统理论着重分析系统的层次结构；一级管一级，同级结构之间有一定的独立性。这诚然是个微观理论。但直接把巨系统理论用于生物，从细胞作为基层单元开始；或用于社会经济，从每个企业、每个生产队作为基层单元开始，那就要把亿万个细胞，千百万个企业、生产队，一齐进入计算分析，毕竟太繁琐，无法取得具体结果。所以直接从微观来考察系统又不实际，不现实。这一进退两难的处境正如当年人们认识到气体由相互作用的亿亿万万个分子组成，一对分予的相互作用的规律是清楚的，就是分子太多，作为这亿亿万万分子整体的系统、

气体的[130]性质，却无法取得具体结果。我们需要一个微观过渡到宏观的理论。实现这一过渡的奥秘在于：我们其实并不需要知道每一个分子的运动才能知道作为整体的气体的性质，宏观知识不要求知道那么多细节。这一认识使 19 世纪后半叶的物理学家发展了一门新学科——统计力学，不求知道每个分子的运动，但求得到整体分子的平均行为。统计力学使得热力学这一宏观规律的学问能通过分子的微观运动来解释，微观到宏观的道路打通了。这是近代物理学的一项辉煌成就．它给我们一个启示，在研究复杂的巨系统中，我们也要引用统计方法，才能透彻地看到局部到整体的过渡，才能避开不必要的细节，把握住主要的现象。哈肯（Hermann Haken）[9]。就是用这样的观点来研究系统行为的。他的工作是从 60 年代研究激光发射机理开始的。由于当时现代科学技术的多方面成果已经摆在他面前，他吸收了概率论、信息论和控制论的有关部分，并且从一些平衡态，如超导现象和铁磁现象的理论发现，有序结构的出现并不是非远离平衡不可。超导体和铁磁体的结构是一种有序结构，就连液体和固体结构也在一定程度上是有序的，而它们都可以在热力学平衡下，从无序的状态产生。哈肯还发现激光发射这种远离平衡态的系统与上述平衡态的系统，在形成系统的有序结构的机理方面是相似的，都是本系统固有的性质。这就是说关键不在于热力学平衡还是热力学不平衡，也不在乎离平衡有多远，而在于下面的情况：系统的详细运动或微观描述可以用一大组联立一阶时间导数的常微分方程来表达，有多少个描述系统状态的变数，方程组的方程就有多少。对复杂的系统来说，描述系统的变数在某瞬间可以成千上万，上亿万；但不管多少，用一个坐标标出一个系统变换的值，那系统的瞬间状态总可以用这样一个许许多多互相垂直的座标轴所形成的多维空间中的一个点来表达。这个多维空间，在统计力学中称相空间。系统随时间的变化，就是这个代表系统状态的点，在相空间随时间的移动。所以，如果系统自己要走向一种有序结构，那就是说代表那种系统有序结构的点是系统的目标，不管从空间的那一点开始，终归要走到这个代表有序结构的点。更复杂的情况也可以出现，有序结构不是固定不随时间变的，而是一种往返重复的振荡，那就在相空间有一个封闭的环，这个环就是系统的目标。如果还要把在有序结构点或往返重复振荡附近的随机涨落也包括进去，那就说在相空间的这种点成环是不那么清晰的，有些模糊。

哈肯的贡献在于具体地解释上述相空间的“目的点”或“目的环”是怎么出现的。他的理论阐明，所谓目的，就是在给定的环境中，系统只有在目的点或目的环上才是稳定的，离开了就不稳定，系统自己要拖到点或环上才能罢休。也就是系统的自组织。研究相空间系统的稳定性，哈肯得力于托姆（R. Thom）的突变论。所以哈肯是综合了现代理论科学的许多成就才创立了他的系统理论的，他称

他和他一起工作者的理论为“协合学”[9]或“协同学”（synergetics），并把它应用到物理[131]现象、化学和生物化学现象和生物现象，甚至用到社会现象。

从上节和本节的阐述，可以看到系统理论的研究是多么广阔的一条战线。一方面是各种系统工程的实践带来了运筹学，以及控制论，特别是巨系统理论的发展；另一方面是理论生物学的研究带出了一般系统论，同时推动了非平衡态热力学的研究，产生了开放系统远离热力学平衡的耗散结构概念，作为有序性、自组织的理论。近年来，哈肯综合了现代科学的多方面成就，建立了比较深刻的系统理论。打破了热力学封闭或开放的隔阂，甩开了经典热力学概念的牵制。当然，布鲁塞尔学派、哈肯学派以及一般系统论都还在进一步发展，而且我们也远不能把有关系统理论的研究都归纳为这几方面，还有我没有讲到的研究工作。把所有这些成果同运筹学、控制论结合起来，建立一门系统的基础理论科学——“系统学”，看来是不会太远了，而系统科学这一科学技术部门的体系可以建立起来了。这比我以前讲的具体得多，毕竟有了一个系统学的形象轮廓了。这是扩大视野带来的好处。我们可以预期系统学的结果也将帮助理论生物学和其他科学理论的发展。本文后面将会提到。

系统学的建立也将向马克思主义哲学提供深化和发展的素材。普里高津的开放系统强调了世界的一个局部可以走向有序的结论是很有启发性的，它使我们从经典热力学的窒息气氛中解放出来，再也不必去召唤麦克斯韦的幽灵来减小某处的熵了[10]。当然，由此而深化和发展了的哲学又反过来指导科学技术的研究。而且将不只是对系统学本身，也对整个系统科学有意义，并且对其他科学、其他技术也都有深刻的意义。从马克思主义哲学到系统学的桥梁，可以称为“系统观”或“系统论”，它将成为辩证唯物主义的一个组成部分。

三

现在我来讲本文的第二个题目，思维科学。以前[2]我没有明确思维科学的研究范围。为了与本文的再下一个题目人体科学划清研究领域，我想思维科学似乎应该是专门研究人的有意识的思维，即人自己能加以控制的思维。下意识不包括在思维科学的研究范围，而归入人体科学的研究范围，是心理学的事。当然这个划分不是一成不变的；非意识的或现在还不能控制的大脑活动，将来也有可能终于为人所认识。变成可以控制的了，那就会归入思维科学的范围。

我以前也说过，在思维科学和马克思主义哲学之间的桥梁是认识论。我现在仍然以为可以这样讲。当然思维科学的发展会大大丰富认识论的内容，从而也为马克思主义哲学提供发展的材料。明确了思维科学和哲学的关系，也就可以帮助

解决近来在讨论辩证逻辑中的分歧[11]，显然，唯物辩证法属于哲学，而辩证逻辑[132]属于思维科学。

现在让我们考虑，有意识的思维到底有几大类？一般好像认为思维有两大类[12]，一类叫逻辑思维，或抽象思维，一类叫形象思维。直到现在我们仅对逻辑思维有了比较系统的研究，从而总结出了它的规律——逻辑学；而形象思维则研究得很不够，还没有成为一门科学。这是不是由于人仍总想形象思维跟文学艺术的创造有密切关系，因而也就以为是文艺领域的事，无关科学了呢？如果是这样，那也是个误解，因为文艺创作活动也是人的一项社会实践，实践才造成文学家、艺术家在创作中进行形象思维的能力，如果形象思维真的没规律，可以乱来，那也就不会有文学家、艺术家了。而且形象思维不但文艺工作者使用，其他人包括自然科学家、工程师也经常使用。所以一定有规律，一定可以建立一门形象思维的科学，叫“形象思维学”。

但我认为，就是现在也不能以为思维就只有逻辑思维和形象思维这两类。还有一类可称为灵感，也就是人在科学或文艺创作中的高潮，突然出现的、瞬息即逝的短暂思维过程。它不是逻辑思维，也不是形象思维，这后两种思维持续时间都很长，以至人说废寝忘食，而灵感却为时极短，几秒钟，一秒钟而已。那灵感是不是可控的呢？一点是肯定的，人不求灵感，灵感也不会来，得灵感的人总是要经过一长段其他两种思维的苦苦思索来作其准备的。所以灵感还是人自己可以控制的大脑活动，是一种思维。有没有规律？刚生下来的娃娃不会有灵感，所以灵感是人社会实践的结果，不是神授。既是社会实践的结果就是经验的总结，应该有规律。总而言之，灵感是又一种人可以控制的大脑活动，又一种思维，也是有规律的。我们也要研究它，要创立一门“灵感学”。

将来我们还会发现其他类型的思维。

逻辑学、形象思维学、灵感学都是属于思维科学这一科学技术大部门中的基础科学。至于诸如语言学、文字学、密码学、人工智能、计算机软件技术、图象识别技术等等，似乎都可以当作思维科学体系中的应用技术，属工程技术类。至于什么是思维科学中介乎基础科学和应用技术之间的技术科学？现在更看不清楚。我们也甚至可以考虑把美学归入思维科学的体系。总之，思维科学的体系还有待于进一步的研究与发展，现在还说不清；只不过正像本文开头时讲过的，思维科学和数学科学是两大不同的科学技术部门，有各自的体系。

逻辑学、形象思维学和灵感学作为基础科学，作为“思维学”，也只有逻辑学部分比较成熟，其他两部分还有待于创立；但一旦有了这些学问，对科学技术的进展，影响将是巨大的。我们这样说，因为有逻辑学这个例子：逻辑学是现代电

子数值计算机的理论基础。电子计算机的巨大成就，先是数值计算，现已发展到数学公式的推演，并进而实现定理的计算机证明，其作用已涉及到生产、科研、管理、行[133]政等现代社会的各个方面。电子计算机可以称得起是一项技术革命，与 18 世纪的蒸汽机、19 世纪的电力和现代的核能并列。而这一发展得力于逻辑学的应用，出了软件技术这一门在电子计算机技术中非常重要的学问，没有它就形不成计算机科学技术。与此相比，形象思维就未创立，我们还不清楚形象思维的规律：就是图形的识别也还是个大问题，不知道人脑是怎么识别图形的！所以也就不知道怎样造一台识图机器，或怎样叫计算机去识图。现在有人在试作，但机器识图的结果令人很不满意，机器笨极了，而且不可靠。例如现在邮局用来读信封邮政编码的机器据说也只有大约 60%的成功率，其余相当大的一部分机器读不出，还得剔出来请人来认。所谓“一家方便万家难”的一家方便也是有限的。这比起机器数值计算，每秒运算几十万次、几百万次、几千万次、几亿次，真可谓天壤之别！原因在哪里？在于我们掌握了逻辑学，但没有掌握形象思维学。那我们一旦掌握了形象思维学，会不会用它来掀起义一项新的技术革命呢？这是颇为值得玩味的一个设想。

那末如果我们掌握了灵感学呢？那人的创造能力将普遍地极大地提高，岂不人人都成了“天才”。这是更发人深思的了。

认识到深入研究思维学和发展思维科学的重大和深远意义，我们要问：到底如何去研究思维学这门这么重要的科学呢？一条途径是比较古老的，可以称为心理学的方法：人自己内省，即自己考察自己的思维过程，即以人用自己作试验。老方法也有新内容，我们可以引用一些较新的科学，如认识科学和科学方法论[3]的成果；而且现在试验技术也有很大的提高，可以用各种精密的科学测量仪器了，例如脑电图技术有发展，测到的电位信号可以经过电子计算机处理，滤去噪声，取得各种纯信号。有一种叫做“事件电位”（even-related potential，ERP），标志不同大脑思维活动单元。试验中还可以使用各种对大脑部位产生特定作用的药物，来改变其活动作用，然后观察对思维的效果。这条途径也可称为宏观的研究方法。

又一条途径是微观的方法。人脑是由许许多多神经细胞所组成。细胞种类也很多，有人估计有 5 000 万种；细胞总数约 1 000 亿，或 10^{11}个（以前估计有 10^{10}个）。每个细胞又伸出许许多多支叉，有一个主枝，叫轴突，还有不少分枝，叫树突。轴突和树突都同相邻细胞或神经细胞形成一对一对的接触，叫突触；一个突触就好比一个开关，开关作用是通过特定的有机化学分子来实现的。大脑一共有多少对开关呢？一共有 10^{15}个（以前估计为 10^{14}个）。所以人的大脑好比一台有 10^{15}

个开关的电子计算机！这比目前世界上最大的计算机还不知大多少倍。而且还有一个重要区别：电子计算机，至少是目前的电子计算机，内部结构是固定的，不变的，作成了就那样了；但人脑，从小孩到成年、到老，一辈子在人的实践中改造、完善，人的智力可以不断提高。这也就是说人脑的功能和人的社会活动有密[134]切关系，人脑是一个受社会作用的、活的、变化的系统，我们必须注意这一特征。

以上都只是现代脑神经解剖学告诉我们的人脑的概貌。不只是上述概貌，脑神经解剖学和脑神经生理学还告诉我们人脑的大致构造，特别是神经细胞轴突和树突的具体动作。动作的细节也一天天搞得越来越清楚了。这是近十年来的巨大成就[13]。我们说的研究思维学的微观方法，就是人脑这种微观结构和一个个单元的动作性能同人的思维联系起来，看到人脑有 10^{15}个单元，或说人脑是由 10^{15}单元组成的超级巨系统。研究思维的微观方法行得通吗？如果不是有本文前几节讲述的系统学研究作准备，我想对这个问题是难以答复的。有了这个准备，我们总可以说：尽管人脑是极为复杂而庞大的系统，系统学的进一步发展终会使微观研究思维学的方法取得成功，完成从微观到宏观的过渡，在研究中我们也可以借助于电子计算机模拟的人工智能工作[3]，从而我们终将不但知道我们自己思维的“当然”，而且知道其“所以然”。

四

现在再谈本文的第三个题目，人体科学[4]。

首先我说说人体科学的研究范围。它是研究人体的功能，如何保护人体的功能，并进一步发展人体潜在的功能，发挥人的潜力[3]。有意识的大脑活动，即思维，虽然是人体的一项非常重要功能，但已归入思维科学的研究范围，就不包含在人体科学的研究范围内了。

再就是名词问题。以前我曾用过[2]“生理科学”这个词，这不确切，太狭窄了。现在有的同志用“人体生命科学”这个词，加入了生命两字。我感到这有限制一下的意思。考虑到人体科学是一个科学技术大部门，一个体系，包括如同系统科学和思维科学那样从基础科学到技术科学、到应用工程技术三大类，特别是到应用技术，会包括非生命的内容，限制了反而不妥，还是不加“生命”为好，也省两个字，名词短些。

说短，也有另一个名词，“人学”。这个词有两种不同的涵义。高林同志[14]的人学是要全面地、综合地研究人，其研究范围远远超出人体科学。“人学”的另一种解释是说，由于当前我国社会中出现的不良风气，有那么一门拉关系、走后门，

阿谀奉承、溜须拍马的“学问”。这都和这里谈的人体科学不同。

现在来谈谈人体科学的体系，从应用技术、工程技术说起，可以先讲体育技术，这也包括武术、杂技，以及中国戏剧中的武打功、身段功。这方面的活动自然是在现代社会中占非常重要的位置，而且有国际影响。我在这儿提出，是说要把体育技术作为一门科学技术来看待，要能讲出道理，不是只靠巧劲儿或拼体力。[135]有时运动器械或道具也很重要，例如撑杆跳高，杆的重量、弹性非常重要，竹杆不如玻璃钢杆，玻璃钢的又不如碳纤维的。这都是学问。

人-机工程是又一门非常重要的应用人体科学技术。这是专门研究人和机器的配合，考虑到人的功能能力，如何设计机器，求得人在使用机器时，整个人和机器的效果达到最佳状态。在生产过程中，人-机工程搞好了，生产效率可以大大提高。在武器设计中，人-机工程搞好了，战斗力可以大大加强。在特殊环境中，如载人航天飞行器里，人处于失重状态，而再入大气层返回地面时，又要经受超重加速度等等，如果培训航天员和设计飞行器的各种工作系统，自然是个严重的问题，这也是人-机工程。对有些自动化系统，人们发现，如能让人对系统作适时、适当的干预，比全不要人参加要好。这也就是让人发挥综合形势、权衡多方面利弊、作出判断的长处，也让机器发挥大功率、高速度、精确运动的长处。就在电子计算机的运算过程中，也会有人干预计算而缩短计算过程的情况。人-机工程是人体科学和机械科学、电子科学的结合，是今天发展很快的一门技术。

从人体科学的角度来看，大家熟知的医疗学科可以认为是这一科学体系中的应用技术。这包括各临床学科如内科学、外科学、妇产科学、儿科学、眼科学、耳鼻喉科学、皮肤科学、神经病学、精神病学、口腔医学，以及内分泌学、肿瘤学、围产期医学、老年病学、传染病学、骨科学等等。此外作为人体科学体系中的应用技术还有各种预防医学学科，如职业病学、少年儿童卫生学、营养卫生学、劳动卫生学等。在应用技术方面，还有非常重要而决不容忽视的气功疗法。

在人体科学的体系中，为上述应用技术提供直接理论依据的是技术科学性的学问。例如联系体育技术的是运动生物力学和运动心理学。前者运用力学原理研究身体各类动作的合理性；后者研究运动员的心理在体育运动中的状态和作用。联系各种人-机工程的有工效学，也称人体工程学（ergonomics）[15]。至于联系医疗卫生的技术科学性学问，那就是病理学、药理学、毒理学、免疫学、寄生虫学等，而这又要引用微生物学、生物化学、有机化学等自然科学的成果。

作为这一大类应用技术和技术科学的人体科学的基础科学呢？那是阐明人体构造的解剖学、人体功能的生理学，以及组织学、胚胎学，还有遗传学。再就是研究人脑非意识活动的心理学。当然，人体的功能也受人脑有意识活动的影响，

所以前节中讲的思维科学也是人体科学的基础科学。这就是说，现代科学技术几个大部门之间有交叉。其实，以上讲的人体科学这一大部门中的应用技术和技术科学也综合了其他部门的学科知识。

从以上叙述我们看到：人体科学的各学科都是已建立了的，有的还有百年以上的历史。在这里我提出人体科学体系的概念，只是把它们按基础科学、技术科学和应用技术，组织排列起来，让它们在新体系中就位而已。但是，是否仅仅如此[136]呢？既然建立了人体科学这一科学技术大部门，那按我们以前提出的现代科学技术结构体系，就必然要问：什么是这个部门与马克思主义哲学的联系？什么是其过渡的桥梁？我们这里讨论的是一大科学技术部门与哲学的联系，不是一门科学、一门技术单独地与马克思主义哲学的关系，例如医学与哲学的关系[16]。这符合哲学高度概括的本质，因此就比较容易从广阔的视野考察问题，而取得结果。当然，这个通到哲学的桥梁还有待于我们去构筑。

五

其实我们组织起人体科学体系的目的是为了迎接这一部门已经开始的发展和即将来临的更大进展，要承认它在现代科学技术中应有的重要性。

是什么重大发展？我们可以先从国外情况讲起，正如我在本文第一节讲的，现代生物学中，有不少人看到百年来近代科学的还原论和经验论研究方法的缺点，只注意“树木”’不注意“森林”因而对“森林”总不能全面认识！所以理论生物学家提出要研究生物的整体。而且，生理学和医学的研究也不断发现人体的新现象，迫使我们改变过去对人体组织的概念。例如：以前我们以为人体的各个器官是分层次组织的，中央发号施令的是大脑，然后是各生理系统，每一系统有它自己的功能传递化合物，各就各位，各司其职。在“基层”工作的化学物质有亲皮质索、血管紧缩索Ⅱ、激胆囊索八肽、胃泌激素、生长激素、胰岛素、β-肥胖素、催产素、激乳索、血管加压素等等，我们从它们的名称就知道它们本来是被认为在人体内脏各系统工作的。但现在发现以上说的这些化合物，还有其他同类化合物，一共 20 多种，竟然出现于人的大脑[17]，可以说在基层工作的跑到中央领导机关来了。这不是打乱我们那种层次分明的人体组织了吗？它说明人体的整体功能比我们以前设想的要灵活得多，一定还有许多奥秘未被我们识破。

我国脑神经学专家张香桐教授研究了针刺镇痛的机理。针刺在某一穴位，能不能产生某局部的镇痛效果？从经典生理学的观点，人体器官各司其职，针刺能镇痛是不能接受的。我国至今还有生理学家不相信针刺能镇痛。但张香桐教授发现：针刺能激发人的下丘脑分泌内啡肽，内啡肽作用于神经，起到局部镇痛作用。

针刺镇痛作用不是直接的，是通过大脑的。这又给我们启示，人体的整体功能是跨越组织部门的。

这些现代科学成果促使我们去考虑祖国传统医学、中医理论的正确性。中医理论中的阴阳说和五行说，中医理论的脏腑论和经络学说，中医理论的六淫、七情，中医讲究辨证论治，这些都强调了人体的整体观以及人和环境、人和工作的整体观。应该说，这是符合马克思主义哲学、辩证唯物主义的。中医理论的缺点是[137]它和现代科学技术接不上钩，语言、概念是两套。所以中医自有中医的一套，西医自有西医的一套，只能独自发展，各搞各的。目前说中、西医结合实际是在临床治病，请中医治，也请西医治，各发挥其所长，双管齐下，加快病人的康复过程。这种中西医结合也是一条医疗事业的途径，也要提倡。我国目前的现状是三条途径，西医一条，中医一条，中西医结合也是一条。

中医真用不上现代科学技术的语言和概念吗？1973 年戈德伯格（Goldberg）和 1977 年邝安堃教授作了回答：他们先后用科学实验分析证明：中医所谓阴虚、阳虚的症状至少有一部分与血液中的环腺苷酸（cAMP）和环鸟甘酸（cGMP）含量有直接联系。这不就把中医的语言翻译成现代科学的语言了吗？而且阴虚、阳虚只能定性，不能定量，而分析血液的环腺甘酸和环岛甘酸是可以精确地定量的。这是古老的中医现代化！这些都证明中医是可以现代化的。中医发展的前途是中医现代化[16].

与中药密切相关的是祖国传统医疗卫生的又一珍宝——气功。在前节我们已经说到它了，气功对保护人民健康和治疗疾病有公认的效果。但气功本身又有十分重要的科学意义：正如吕炳奎同志所指出的[19]，气功与中医理论相通。练气功的人对气血、经络、脏腑等中医学说通过运气练功的实践，得到感受而容易理解，因此气功又是研究中医理论的钥匙。有的同志认为：中国古代的医药名家，很可能就是有成就的气功师；这些同志并认为气功是中医中药理论的泉源。我们要研究中医理论，实现中医现代化，就必须同时科学地研究气功。

但气功的科学意义还有另外的方面：练气功功夫深的人，高级气功师，还具有透视人体，透视地下构筑，“发气”摄敌，十步之外摔倒人等功能。这就把气功同现在人们注意的人体特异功能联系起来。高级气功师的特异功能是后天练出来的，而 10 岁左右少年的特异功能是经过诱发的先天禀赋；高级气功师的特异功能更强，效果更惊人，虽然两者可能都反映这是人类某种潜在的固有功能的显现。研究少年儿童的特异功能是件重要的工作，近来已取得进展[20]，这是可喜的。但我们应该以更大的努力结合高级气功师的实践去研究气功，建立“气功科学技术”这门学问。现在国外已经对此重视，而且开展了工作[21]。我们应该有紧迫感，不

要失去时间。但这是要投入一定力量的。要把各方面的科学技术人员组织起来，并要有一定的条件。目前这方面的工作还得不到国家的支持，还是业余式的，因而也往往限于仪器设备等条件而不够严谨，达不到开发新科学领域所要求的清晰、确凿程度。王伽林同志[22]为了在这种条件中取得无可置疑的科学结果，竟在自己身上开刀，剖腹测量胆汁流量与练功的关系，这种精神，令人肃然起敬。

以上所讲的情况也引起我们去思考：为什么在中国长达两千年的实践中的气功、中医、特异功能，却断断续续，得而复失，道路那样曲折？是什么缘故？是人们[138]的偏见吗？是的，偏见令我们失去真理，我们要警惕啊！

由此我也想，我们还有什么在历史上已经发现了的东西，后来又扔了呢？陈涛秋同志在给我的信中认为，人是可以在千里之外感受亲密知己的思想的，并认为历史上有许多记载作证，我想这种现象当然可以用现代科学仪器作测验，但除此之外，似乎也可以作一番历史文献的调查研究。历史文献是人类过去社会实践的记录，也可当作是实验室的笔记。我国地震工作者，就曾从史书、县志、杂记等历史书籍中获取非常宝贵的地震数据。竺可桢教授也曾从史书和古籍中查到关于古代气候的材料，总结出古代历年我国气温升降的曲线。那么我们现在可不可以把古籍中关于气功、中医理论、特异功能、人与人的遥远感受，以及其他事例，经过鉴别，去粗取精，去伪存真，整理出来，作为一门古代实验的学问，可叫“古实验学”。这不是会对我们研究人体功能很有用吗？

讲了以上的话，对人体科学会要大发展这一论点，我看是比较清楚的了。看，人还有多么大的潜力啊！我们将使上一节所陈述的现有人体科学彻底改观！在这一大发展、大创造中，一定要把人本身作为一个系统，把人和环境作为一个系统，所以系统科学和思维科学的研究成果也一定会促进人体科学的研究。

在结束本文前，我们不禁要对现代科学技术进展的速度感到惊奇。从引证的文献来看，正是由于国内外广大科技人员的协同劳动，我们才有可能在这里一下予提出三个崭新的科学技术大部门：系统科学、思维科学和人体科学，从基础科学到技术科学、到应用技术。而它们在 1978 年的全国科学大会上，还没有占重要位置，八个当时认为是形响全局的综合性科学技术领域、重大新兴技术领域和带头学科，是农业科学技术、能源科学技术、材料科学技术、电子计算机科学技术、激光科学技术、空间科学技术、高能物理和遗传工程，而本文讲的新学科仅出现于单项研究中。这三个新的科学技术部门都有强大的生命力：推动系统科学研究的是现代化组织和管理的需要，推动思维科学研究的是计算机技术革命的需要，而推动人体科学研究的是开发人的潜力的需要。两年的变化是鼓舞人心的，现代

科学技术的前途无量！让我们在结束时再次引郭沫若同志在全国科学大会上讲话中用过的白居易的诗句：“日出江花红胜火，春来江水绿如蓝！”

原载《自然杂志》，1981 年第 1 期。

参考文献

[1] 钱学森：《科研管理》，1（1980）。
[2] 钱学森：《哲学研究》，4（1980）。[139]
[3] 钱学森：《光明日报》，1979 年 11 月 10 日 2 版。
[4] 陈恂清：《北京科技报》，1980 年 7 月 18 日 108 期 1 版。
[5] Rosen R. *Int. J. General Syscems*（1979）173.
[6] von Bertalanffy L.，*Generral System Theory*， G. Braziller（1968).
[7] 王兴成，《哲学研究》，6（1980）35。
[8] Glalsdorff P,，Prigogine。I，*Thermodynamic theory of Structure，Stability and Fluctuations*，Wiley（1971)；沈小峰，湛垦华：《自然辩证法通讯》，1（1980）37。
[9] Haken H.，*Synergeties，an Introduction，Springer*（1977)；哈肯 H.，《自然杂志》，1（1978）339。
[10]张忠文：《北京科技报》，1980 年 7 月 11 日 107 期 1 版。
[11]秋田：《光明日报》，1980 年 10 月 33 日 1 版。
[12]沈大德，吴廷嘉：《中国社会科学》，3（1980）
[13]《科学》，1（1980）
[14]高林：《北京科技报》，1980 中 7 月 25 日 109 期 3 版。
[15]封根泉：《北京日报》，1979 年 5 月 16 日 3 版。
[16]旭玮：《中国自然辩证法研究会通信》，1980 年 19 期 1 版。
[17]Wingeson L.，*New Scientist*， 186， 1201（1980）16。
[18]王建平等，《上海中医药杂志》，4（1980）2。
[19]吕炳奎：《自然杂志》，2（1979）676。
[20]《自然杂志》，3（1980）643。
[21]陶祖莱，林中鹏：《力学与实践》3（1979)。
[22]王伽林：《自然杂志》，3（1980）164。
[140]

再谈系统科学的体系

钱学森

一

在以前的两篇文字[1、2]中，我谈到系统科中的体系和系统科学的基础理论，系统学的建立。在第二篇中我讲了为了建立系统学只从工程技术的各门系统工程和其技术科学的运筹学、以及控制论去提炼还不够，还必须打开视野，要吸收L. von. Bertalanffy的一般系统论、理论生物学，I. Prigogine及其学派的远离热力学平衡态的耗散结构理论，特别是H. Haken的协合学理论。

在这里我想补充两项在我看来是很有意义的研究。首先是H. Fröhlich等人于1967年开始的工作，其综述见栉田孝司的文章[3]。Fröhlich认为Haken的激光器理论也可以用于生命现象，因为活体中存在着纵型电振动分支，通过代谢给它供应能量，当能量超过一阈值时，形成强激励下的单模相干振动，出现长距离的相位相关。这正是活体具有极惊人的有序性的解释。他们并且从细胞膜的厚度和声波传播速度得出这种振动频率大约为 10^{11}～10^{12}赫。又因活体细胞膜上存在着由于膜两侧钠离子和钾离予的浓度差异，而引起的 10^5伏／厘米的电场强度，振动必然发生相应的电磁波。根据以上频率，电磁波应是毫米波。A. Z. Smolyanskaya和R. L. Vilenska[4]正是用毫米波照射大肠杆菌，发现大肠杆菌在合成菌素的活性与波长密切相关，有共振现象，在共振宽度仅 10^8赫左右，出现活性高峰。Fröhlich[5]也和W. Grundler和F. Keilmann一起，用毫米波幅照酵母菌，发现生长速度也出现共振峰，共振宽度才 10^7赫左右。这些试验证实了Fröhlich的设想，把协合学理论直接运用于细胞繁殖现象了。

其次我要介绍的是一项更为深入而广泛的工作，M. Eigen和P. Schuster的“超循环”（Hypercycle）理论[6]，这是直接建立生命现象的数学模型。他们观察到生命现象都包含许多由酶的催化作用所推动的各种循环所组成，而基层的循环又组成更高一层次的环，即“超循环”也可以出现再高层次的超循环。超循环中可以

出现生命现象所据为特征的新陈代谢、繁殖和遗传变异。Eigen等的贡献在于[141]他们把控制论中的巨系统理论具体化到生命现象，提出了结构模型，并且通过实例，生物遗传信息的传递过程，验证了他们的模型可以复现生命现象的特征，为达尔文的进化论，即生命在生存环境中的演化，提供了科学的理论基础。

Fröhlich 的工作、Eigen 的工作以及还有其他工作都和 von. Bertalanffy，Prigogine 和 Haken 的工作一样，都是自然科学和数学科学的研究为系统科学的基础科学一系统学，提供了重要的构筑材料。

二

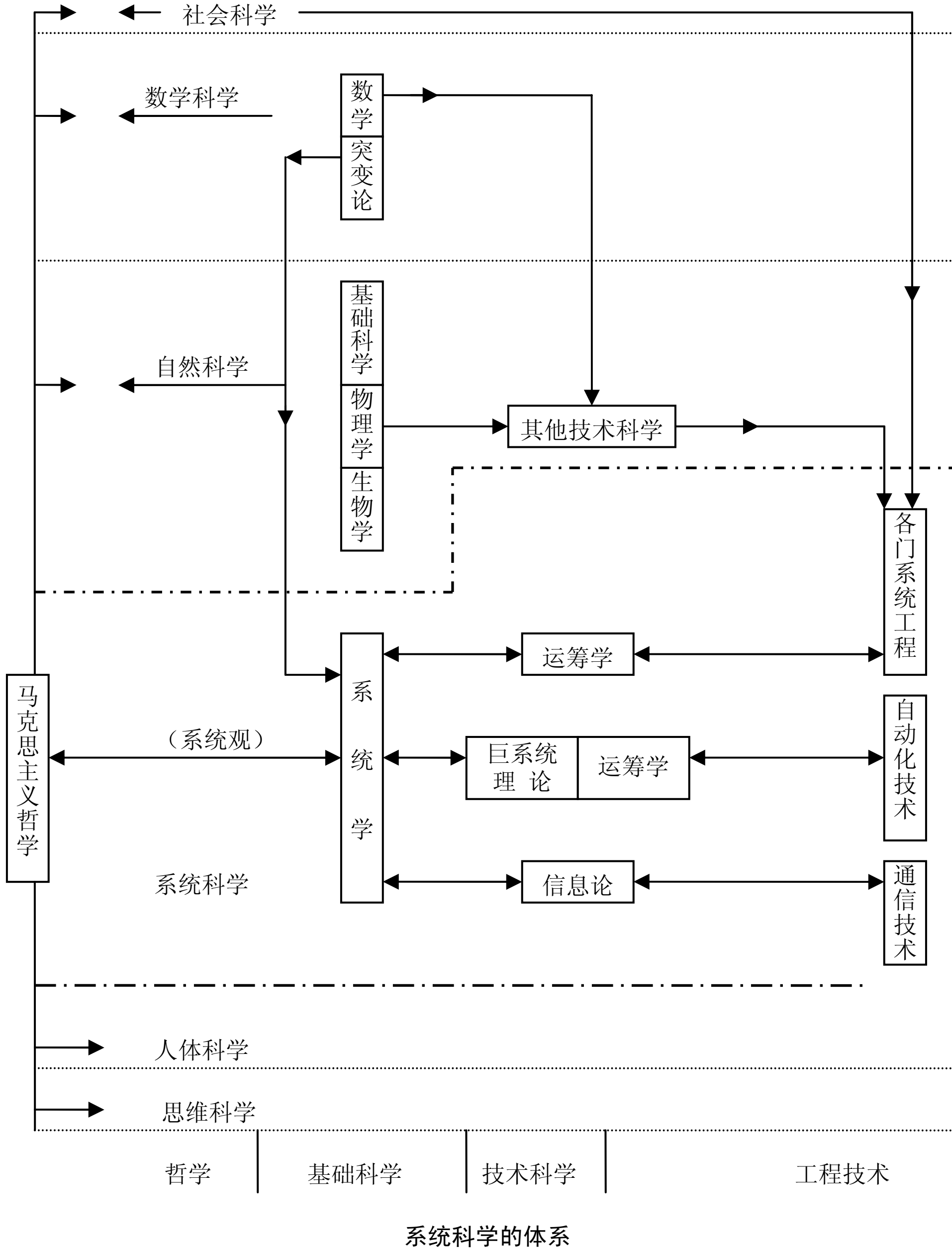
以前我也讲过为系统学提供构筑材料的还有各门系统工程的理论、运筹学，以及自动化技术的理论、控制论，特别是巨系统理论。但在组织一个大系统的过程中，系统内部的信息传递是个非常重要的问题，信息的准确程度对整个系统的功能关系极大。这个问题的理论是又一门现代科学：信息论，它是由现代通信技术的发展需要，在 40 年代建立起来的。所以来自工程技术的构筑系统学的材料有运筹学、控制论和信息论的内容。这再加上前一节所讲的来自自然科学和数学科学（特别是突变论）的构筑材料，建立起系统学的工作就提到研究计划上来了。我们应该立即开始这项工作。

系统学的建立也会有助手明确系统的概念，即系统观，国外有些人，如 А. И. Уемов[7]，称作为“一般系统论”的实际是我们这里的系统现。系统观将充实科学技术的方法论，并为马克思主义哲学的深化和发展提供素材。这也就是说人的社会实践汇总、提炼到系统科学的基础科学——系统学，又从系统学通过一座桥梁——系统观，达到人类知识的最高概括——马克思主义哲学。所以系统科学的体系可以表达如图那样，分工程技术、技术科学、基础科学和哲学四个台阶。

我以前[8]也曾提出控制论的发展，除了工程控制论之外，又有生物控制论、经济控制论和社会控制论，从而提出一种设想：“能不能更集中研究‘控制’的共性问题，从而把控制论提高到真正的一门基础科学呢？能不能把工程控制论、生物控制论、经济控制论、社会控制论等等作为是由这门基础科学理论控制论派生出来的技术科学呢？”现在经过两年的时间，回答是肯定的，这门基础科学就是我们讲的系统学。

系统科学体系的成立也必将影响其他现代科学技术的发展。它与现代科学技术的另两个大部门——人体科学和思维科学的关系前文[2]已经讲到。它当然也将反过来促进比较早建立的科学技术部门，如自然科学和社会科学。例如贝时璋[9]把“细胞重建”作为细胞繁殖中不同于细胞分裂的又一个途径，要阐明细胞重建的

机制就需要系统学。所以系统学的建立和研究是现代科学技术进一步发展[142]中的一个重点。



系统科学的体系

原载《系统工程理论与实践》1981 年第 1 期。[143]

参考文献

[1] 钱学森:《大力发展系统工程,尽早建立系统科学体系》,《光明日报》,1979 年 11 月 10 日,第二版。

[2] 钱学森:《系统科学、思维科学和人体科学》,《自然杂志》,1981 年第 1 期,第 3～9 页。

[3] 栉田孝司:レヘザヘ研究,1979 年（7 卷）第 3 期,第 241～250 页,译文见《国外激光》,1980 年 9 期,第 1～7 页。

[4] A. Z. Smolyanskaya,R. L. Vilenskaya *Soviet Phys*. Uspekhi,16（1974）571。

[5] W. Grundler. F. Keilmann,H. Fröhlich, Phys Letters 62A（1977）,463。
W. Grundler,F. Keilmann,H. Fröhlich,Z. Naturfisch. 33C（1978）,15.

[6] M. Eigen,P. Schuster,*Naturwissenscharten*,64（1977）541,65（1978）7,65（1978）341。

[7] A. И. Уемов,原作见 Природа,11,1975;译文见《世界科学（译刊）》,1980 年,第 12、44 页。

[8] 钱学森:《现代化、技术革命与控制论》,《工程控制论》（修订版,序）,上册,科学出版社,1980 年。

[9] 石珀:《细胞重建》,《北京科技报》1980 年 12 月 5 日第三版。[144]

关于系统学的通信

一、钱学森给成都六五厂马华孝的信

马华孝同志：

四日十六日来信和文章收读。我认为您对《复杂系统运行可靠性的逻辑分析与概率计算》《成都科技大学学报》1981 年第一期）的研究是有意义的。一切科学技术工作都要以人类知识的最高科学概括——马克思主义哲学为指导，而科学技术的新成就又必须用来充实、深化和发展马克思主义哲学。

对复杂系统的可靠性分析我想提两点意见供您参考：

（一）如何从可靠性低的元器件组合成可靠性高的系统。这个问题三十年前 von Neumann 就提出来并作了初步分析（见我的《工程控制论》1958 年版第十八章)。现在大规模集成电路使元器件成本大大下降，这个问题很有现实意义。

（二）非常复杂的超级巨系统的可靠性分析。量变可以引起质变：H. Haken 等人的协同学（Synergetics）证明这是可能的，即巨系统的统计理论说明巨系统中会出现简单系统中没有的现象，如自组织现象。那么可靠性呢？可能有不同于简单或一般复杂程度的系统中出现的现象。

您有什么意见，请示。此致

敬礼！

钱学森　1981. 4. 25

二、钱学森给北京师范大学物理系方福康的信

方福康同志：

收到您来信后，很兴奋。

近来我又想到两个有关系统学的问题：（一）三十年前 von Neumann 就开始研究用重复不那么可靠的元件组成高度可靠的系统的问题（见拙著《工程控制论》

[145]1958 年版第 18 章)，但此工作似乎还没有引入系统学。现在由于采用了大规模集成电路，元件非常便宜，可以多用元件以换取极高的可靠性，这就要求继续 von Neumann 的工作，纳入系统学的框架。（二）四十年前 von Neumann 同 Morgenstern 建立了博弈论，后来因为理论计算太繁，实际应用时，往往用 Monte-Carlo 数值法上电子计算机，求得结果。近来在计算机下棋和简单的军事战斗集体（如排对排）的行动也已经实现了。但如何把理论用于结构复杂、成员众多的对阵集团，问题太复杂，就连电子计算机也不行了。这是军事系统工程中的一个大问题，也是微观经济过渡到宏观经济理论的根本问题。能不能把博弈论和系统学结合起来，以解决此难题？……

此致

敬礼

钱学森　1981. 5. 25

三、方福康给钱学森的信

钱先生：

您好 1 猜原谅狠晚才给您复信。原因是您来信中所提到的问题是困难而有兴趣的，需要仔细想一想。我对 von Neumann 是非常钦佩的，这种感受是我学习了他的“量子力学数学基础”一书后获得的。对于“博弈论与经济行为”一书虽然没有机会去读它，但也抱着相同的感情。这就使得我对您提出的问题十分感兴趣，但又觉得困难。现在我想把我这些时间想到的一些零碎想法，向您报告一下，请您指导。

（一）这段时间粗读了一点控制论，使我惊异的是 N. Wiener 的原始思想竟与 I. Prigogine 等人的想法如此相似。“在非平衡系统中，或者在非平衡系统的一部分中，熵不一定增加”，“它对于我们来说非常重要……在这些阶段熵并不增加，而组织及有关的信息却正在建立之中”，这些 Wiener 的论述并用以作为控制论的基础，几乎可以毫不加变动成为 Prigogine 的语言。这使我认识到这些学科之间的确存在着一个共同的基础。

（二）注意到这两个学科区别之点是重要的，从我看来，特别有兴趣的是以下三点：

i）如果我们着眼于物理世界三个要素的分析：物质、能量和信息。那么控制论只研究信息，它不讨论能量和物质。而在“协合学”或耗散结构的理论中，引入了物质和能量，但是对信息的处理远不像控制论中这样深入，序或结构的产生只是通过系统的不稳定性的分析而得到的。[146]

ii）耗散结构所处理的系统都是非线性的，而控制论所处理的系统实质上许多是线性的，非线性所带来的非常丰富的内容在线性化处理的过程中是会被忽略掉的。

iii）在控制论中十分重要的反馈的概念，在耗散结构的理论中并没有真正引入，并没有一个合适的数学工具把这个深刻的概念尽善地表述和发展起来。

因此，似乎可以在这两门学科之间寻找相互渗透的交叉地带，把理论进一步发展。特别是把非线性与反馈这两个概念有机地结合起来。

（三）关于 von Neumann 自动机误差的控制这一件事，大致是属于计算机中“多数逻辑”这一类问题，从我们的系统学的角度去分析这件事，可能是复杂的。但是我想在弄清楚一些基本问题的基础上，由于这两个学科的内在联系，还是有可能进行分析的。

（四）博弈论和非平衡系统学的联系，我觉得是有希望的，在国外的时候，我就见到过 Eigen 的文章，将博弈论引入到他的理论中去，最近去上海，问起徐京华先生，他也有此印象，Eigen 写过一些文章和小册子，这方面的材料我正在进一步找。刘若庄先生对此问题也颇有兴趣。他说以前还看过一篇 Eigen 的文章，我们准备讨论一下这方面的问题。等有进一步的想法再见告。……

不多写了。 此致

敬礼

方福康　1981．8．22.

原载《系统工程理论与实战》，1981 年第 3 期。

[147]

关于中国系统工程发展的若干侧面

许国志　顾基发

摘要　中国系统工程的发展三个重要支柱是运筹学、管理科学、控制论。本文回顾了某些历史侧面，着重介绍了最近三年的中国系统工程的某些重要活动和研究工作。中国系统工程学会的成立促进了自然科学经济科学家和工程技术人员的紧密合作与联系。本文只叙述了中国系统工程发展曲若干侧面，而不是全部。

一、引言

尽管系统工程在中国有系统、有组织的研究和应用是 70 年代中期的事，但是要想承担在这篇文章中比较详尽的叙述它的发生和发展过程的责任，却使我们感到为难。这是因为这几年我国热心从事或关心系统工程的学会甚多，我们随手举出那么几个学会就可以说明这点，例如有自动化学会、航空学会、数学学会、电子学会、铁道学会、管理现代化研究会、技术经济研究会、企业管理协会、核学会……原谅我们不能再列举下去。虽然我们也曾参加过其中有些学会的活动，但也只是其中一小部分，而对它们各自的发展过程了解更少。其次再从系统工程几个重要支柱运筹学、管理科学和控制论来说，也都经历了既有共同发展的部分，又有其各自独有发展的道路。我们同样无法分别详细分述。作为运筹学工作者只好先从我们熟悉的情况来谈。

二、初期：50 年代中期

对于中国学者在运筹学、管理科学和控制论方面的研究本来还可以追溯得更远一些。例如钱学森教授早在 50 年代初期对工程控制论的研究，我国其他一些留学欧美和日本的学者们或在欧美影响下的国内学者，早就对运筹学、计量经济学、质量控制等已有所研究。同样另一些留苏学者或在苏联影响下的国内学者对于技术经济学的研究，都说明中国学者在这方面研究的探索。但是比较大量的研[148]究还是 50 年代中期先后开始的。那时我国在科研部门分别成立了一些运筹学、控

制论、工业经济和经济数学等研究部门，在一些高等学校也成立了相应专业。下面以力学所运筹室的一些动向来说明某些侧面。

在钱学森和许国志教授的创导下，力学所从 1956 年先有一个运筹组，后扩成一个研究室。回顾该室的一些研究设想对认识我国系统工程发展的某些侧面将是有益的。我们将提到下面几件事，

（1）从运用学到运筹学

在钱、许的文章中开始中文译名还是适用学[1、2]，那是按照西方 50 年代初期对运筹学一般的理解[3]，但是中国学者们从自己的预感中认为运筹学不单要研究现有的武器、设备等的运用，而且更要研究未来武器和设备的运用以及将来计划（包括国家的计划）的制订，因此将它翻成运筹学。当然作为英文名词，我们仍然沿用西方习惯，称之OR。

（2）确定运筹学一个重要研究方向是把运筹学应用于国家经济计划的制订工作中。

钱教授等在当时不乏勇气地提出“把社会科学从量的侧面来精确化”，“精确化了的政治经济学就能使国民经济规划作得更好，更正确”[2]。他们不单学马克思主义政治经济学，而且钱教授自己带头用马克思主义的观点研究扩大再生产问题。同时他们又认真研究了西方的计量经济学及列昂切夫的投入-产出分析方法。当今天东西方一些经济学家和运筹学家都同声承认这些方向有用是自然的常识，只是在当时不论在东方或是西方却都不乏怀疑之士，甚至 50 年代中期在苏联遭受某些方面的批判，在中国 60 年代后期同样遭受到一些方面不恰当的批判。

（3）把质量控制纳入运筹学研究方向之一，这是把生产管理和运筹学紧密结合的又一个极重要的方面，这方面介绍在刘源张教授的报告中也能看出[4]。

关于 50 年代后期运筹学发展的一般情况在文[5]中已谈得较多，这儿就从简了。

三、中期：60 年代

在 60 年代一开始有两件事值得提出的：

（1）数学所运筹室[15]的经济数学组正式建立。他们把运筹学与国民经济计划制订的结合作为主要方向，同时在经济所也成立了类似机构。

（2）按照钱学森教授建议数学所和一些工业部门联合成立了控制论室。他们把工程控制论的研究和从庞特列亚金极大值原理等数学方面的研究结合起来向控制论方向发展，关肇直教授、宋健教授就是这个室的主要领导者，以后他们又进[149]一步走向近代控制论的研究。

在我国导弹和空间事业的发展中同时推动了两件对系统工程发展有促进作用的事：

（1）广泛应用计划协调技术，这培养了一批使用系统定量的方法来进行计划管理的组织管理人员。

（2）总体设计部的建立，培养了一批具有组织管理导弹这样复杂系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法的人才。周总理生前曾期望把总体设计机构经验推广到国民经济的重大工程建设中去[6、7]。

在钢铁、石油和运输等工业的深入应用运筹学，使运筹学在这些行业得到较全面的应用。这样既培养了工业界一批运筹学热心应用者，又培养了运筹学工作者从局部应用到注意全局总体的应用。作为投入-产出方法的应用，鞍钢整个企业的金属平衡表在 1965 年制订出来了。

关于优选法和统筹法的应用在全国 22 个省市取得了大批的成果，这方面工作在文[5、6]中已经专门提到过，这里必须提到的是华罗庚教授的“优选学”一书已经问世了。这本著作在数学理论上把优选法加以完整的论述，并且提出一些效率更高的多因素优选法[9]。

四、近期：70 年代

运筹数学经过 60 年代中期的积累阶段，在 70 年代初、中期开始有较成熟的发展。运筹数学各个分支如最优化方法、图论和网络、排队论、可靠性和马氏决策过程等都有新的发展。[5]这为系统工程发展所需要的一些数学工具，作了极其重要的准备。其中被最优化的理论及应用吸引的研究队伍最大，特别工程技术界对最优设计的应用作出了不少新贡献。

运筹学和管理科学这段时期在企业管理方面得到更多更成熟的应用。全面质量管理的推广和应用是卓有成效的，并被国家经委作为抓好产品质量的一个重要工具。不少企业以开展全面质量管理为自豪。特别是从质量管理进入全面质量管理阶段，提高到用系统的方法来管理质量。某些企业用电子计算机和运筹学等方面结合起来的办法来进行企业计划管理，这在杭州汽轮机厂的工作也可看到[10]物资管理中存货管理已在一些大型汽车厂中得到了应用，大大减少了流动资金的积压[11]。合理下料同样取得明显的应用效果，并在一些工厂进行过推广。尤其在极材合理下料方面对其计算方法也取得了一些新的进展。最后在车间作业管理方面也有了一些应用。通过这一阶段运筹学和管理科学在不少企业的推广和应用，把我国广大企业界领导和管理人员也卷入了系统工程这一应用学科的[150]活动中来。

投入-产出方法的应用在 70 年代中就有了新的突破。国家计委编出第一个中国国民经济 61 个部门的实物型投入产出表，并得到一些有意义的结果。去年我国系统科学所六位科学家向国家领导呼吁希望进一步动员更大的力量来编制我国的费用型投入-产出表。国家领导很快同意了这个呼吁。这必将加快推动我国国民经济计划制订的科学化。除了全国性投入、产出表外，目前在一些省市，还有一些企业也正在或已经编制了各种投入-产出表。

控制论专家们的新动向是一面在各个行业广泛推广应用控制论，关肇直教授带头在各地各部门推广控制论，并取得一些新的应用成果。另一方面一些控制论专家如陈珽教授、刘豹教授等开始转向大系统理论的研究，并进一步转向系统工程的研究。作为控制论一个新应用领域人口发展过程的控制在宋健教授等努力下取得很好的结果。

系统工程在中国这时已经酝酿了一定理论和应用的贮备，但是大踏步地推动系统工程这个领域的发展还需要有进一步的宣传普及以及队伍的集积过程。

1978 年开始，一系列直接与系统工程有密切联系的会议终于进一步促进了系统工程的队伍的集积。在 1978 年航空学会召开的军事运筹学座谈会上就有一些科学工作者提出筹建中国系统工程学会的问题。在此期间，我国系统工程的研究和应用工作又有进一步开展，并引起更多方面的注意。这几年相继召开了一系列全国性会议。1978 年教育部召开系统工程会议，会上成立了系统工程协调组，并决定每年召开一次会议。1979 中 6 月管理现代化研究会在天津召开系统工程会议。1979 年 7 月自动化学会在芜湖召开系统工程学术会议，会上美国运筹学学会主席利特尔教授还作了学术报告。1979 年 10 月国防科委和其他单位在北京联合召开系统工程学术会议。会上钱学森、关肇直、李国平、薛保鼎等 21 位学者联合倡议并组建了中国系统工程学会筹委会。1980 年 6 月中国科学院又召开了系统科学与国民经济规划学术讨论会。在这一系列会议中我们看到自然科学家、社会科学家和一些工程技术人员都在为这一横向的综合应用学科——系统工程的进一步发展而努力着。关于这段时期系统工程的一些学术活动张钟俊教授曾在 1980 年国际控制论和系统会议上详细介绍过[12]，这儿就从简了。

经过一年多的筹备，1980 年 11 月在北京终于建立了中国系统工程学会，它表示了中国在系统工程的研究和应用进入了一个新的阶段。

五、中国系统工程发展新阶段

这个新阶段有以下几个特色：[151]

（一）系统工程的应用有了很大的发展

二、三年以前的有关系统工程学术会议上大部分报告是属于宣传、普及系统工程的基本知识和发展概况，或者是一些理论的探讨，实际应用系统工程的报告是比较少的。但是最近一二年的学术会议中应用方面的报告（包括实际应用和应用理论）已经上升到 50%以上，而理论性的在 30%左右，一般性介绍报告只占 15%左右。从这几年系统工程在我国应用的领域来看面是很广的，涉及领域有能源、人口、农业、环境、生态、国民经济计划、军事、企业管理、大型科研项目等，还有的涉及教育，以及中国传统医药等方面。

（二）系统工程的队伍有很大的扩大

这个扩大除了数量上的含义外，还有下面两种含义，①专门队伍增加了，例如中国科学院 1980 年成立了系统科学所，一些高等院狡如西安交通大学、华中工学院、天津大学、上海机械学院等都成立了系统工程所，还有些成立了系统工程研究室。同时还开设了系统工程有关专业课程，招收了系统工程的研究生和大学生。此外在一些工业部门如五机部、六机部等分别成立了相应的系统工程机构。还有不少兄弟学会成立了系统工程的专业委员会；②如果说前二、三年关心和从事系统工程的研究和应用主要是自然科学工作者和工程技术人员，那么最近二、三年社会经济科学界，还有各级领导管理人员参加进这个行列，使系统工程队伍扩大成有自然科学家、社会经济科学家、工程技术人员以及一些管理专家们组成的综合队伍。作为自然科学家钱学森教授和作为经济学家薛暮桥教授一起被选为系统工程学会的名誉理事长也说明了这点。这样的综合性队伍正在我国一些重大的综合性的系统工程项目中起着很好的作用。例如在安徽淮河流域的经济开发工作、平塑煤矿经济可行性分析、反坦克武器系统工程等项目中他们合作很好，而且有的已初见成效。最近一个更高级咨询机构正在酝酿着，具有各种特殊专长的系统工程专家必将通过各个专业的大联合在新的更大的系统工程项目中起着应有的作用。

（三）系统工程的理论研究有所深化

钱教授等在《文汇报》的文章中提出了系统工程的一些基本概念及其内容之后[6]，又逐步前进到对系统科学体系的研究[13]。最近基本上完成了他对这个体系的各个环节的基本看法[14]，他详细论证了系统科学中马克思主义哲学和自然科学、技术科学以及工程技术和数学等相互的关系。除了少量一般系统工程的理论研究外，目前我国更多的研究工作是关于控制论、运筹学的某些方面的理论研究。

（四）系统工程的普及必将为更多的领导和群众所接受

我国系统工程专家们除了自已进行研究和实际应用外，十分注意系统工程的普及和推广。各工业部门，各省市组织了大量普及报告会以及专门性的短期系统

[152]工程短训班，并且通过中央电视台向全国进行包含 45 讲内容的系统工程普及讲坐，不单向一般群众宣传，而且也向国家各级领导宣传。因此今天系统工程学会不单有群众的支持，还得到一大批国家各级领导的支持。

当然中国的系统工程的发展历史毕竟还短，我们已经向外国学了不少系统工程的有用经验，今后还将继续学习。我们更要结合中国的国情，在社会主义计划管理前提下和马列主义的指导下发展中国的系统工程事业。

以上介绍限于我们的知识的片面性，可能有不少缺点和错误的地方。

在本文的准备中得列舒光复同志的帮助，顺致谢意。

这是在 1981 年 4 月中美系统分析学术讨论会上的发言。

参考文献及注释

[1] 许国志：《运用学中的一些问题》，《科学通报》第 5 期，1956，P15。

[2] 钱学森：《论技术科学》，《科学通报》，1957，第 4 期，P97

[3] Linkcsey G. R.，“Looking back over the development and Progress of operational research”，OR’78 North-Holland Publishing company，1979，P13。

[4] 刘源张：“管理科学在中国”论文集 1981。

[5] Ku Cbi fa，“Operations Research in China”OR’78，1979，P740。

[6] 钱学森、许国志、王寿云：《组织管理的技术----系统工程》，《文汇报》1978 中 9 月 27 日。

[7] 王寿云：《用现代科学技术实现决策科学化》《光明日报》1980 中 12 月 16 日。

[8] Ku Chi-fa，“Extension Work，practicao applications and theouticao studies of some methods of seeking the optimum in China”，OR’75，1976。

[9] 华罗庚：《优选学》，《科学出版社》，1981。

[10]刘国祥：《全厂合同产品的生产总进度计划编制和调整系统》。

[11]潘大连：《库存管理的初步实践》1980 年 11 月，将发表于《系统工程理论与实践》。

[12]张钟俊（Chang T. T)，“Development of systems engineering in China”，Sympysiun on Cybernet and Systems，1980。

[13]钱学森：《大力发展系统工程，尽早建立系统科学的体系》，1979 年北京系统工程学术讨论会上的报告，《光明日报》1979. 11. 10。

[14]钱学森：《再谈系统科学的体系》，1980 年系统工程学会成立大会上的报告，《系统工程理论与实践》1981，第 1 期。

[15]1960 年后力学所运筹室并入数学所运筹室。

[16]由于目前系统工程学会的会员正在发展中，我们仅以这个学会理事的组成来看，114 个理事中自然科学工作者占 46%，社会、经济科学家占 10%，工程技术人员占 26%，管理专家占 18%。当然这是一个粗略统计数字，仅供参考。[153]

社会主义的人才系统工程

钱学森

关于把培养、选拔和使用三者给合的人才问题，我在以前的一篇文字[1]中谈到。近来又读了不少同志对这个问题的文章[2]，并联系到一些实际问题，感到我以前说的还很不够。在我们社会主义国家中，人民是当家作主的，国家对人民负责，国家有责任爱护全体人民，组织人民，最大限度地发挥人民的积极性，发挥人民的聪明才智，来为人民的利益建设社会主义。我们说的人民是包括了工人、农民、知识分予以及其他爱国人士在内的全体人民，因此人才的概念也扩大了。我们说的人才，不是什么天才，而是人民之才，是人民当中各行各业的有能力的人。这样的人才问题在以往的社会是不会有的，只有在社会主义制度下才提得出来，所以是一个崭新的问题。

对这个重要而又广阔的问题，我在这里讲舱，自然狠有限，也不成熟，只是想提点看法，引起大家讨论。

一

人的才能从哪里来的？是天生的，还是出生后学来的？现代心理学以及生理心理学[3]的研究都说明，人的才能绝大部分是出生后逐渐学来的，即通过实践逐渐获得的。动物与人不同，它主要靠遗传，猫就天生要抓老鼠，蜜蜂中的工蜂就天生要采蜜。人的“天赋”可以说就在于人脑有极大的可塑性。人一辈子在学习，一辈子在增长才智。周思来同志说：“要活到老，学到老，改造到老”，的的确确如此，是科学的论断。那是否就认为人和人都是一样的呢？当然不一样：比如人一生下来可以带有遗传或胎中缺陷，但这是极少数；更重要的是人从出生之后所接受的事物，他的实践，千差万别，以后的数育，后来的实践更是人人不同，这才是人的能力有差别的主要原因。可惜的是，直到现在心理学和教育学还没有找到整套的规律。所以我们常常说，这个孩子聪明，那个孩子笨，而不知其所以然。要找到这个规律必须开展思维科学的研究[4]。而目前不能不依靠一些不那么完整

的“经验谈”，一些成功人物、大科学家的自传之类的东西，来培养孩子们的智力。所以思[154]维科学以及心理学和教育学才是智力开发的基础，我们应该重视这些科学的研究。不幸的是，十年内乱期间，这方面的研究工作都不同程度地受到打击和摧残，其恶劣影响到今天还在。

人的才能除了智力之外就是知识。也就是把人类自有文字记载以来的实践经验和由此而总结出来的对客观世界的认识系统化为学科，这些学科知识是可以向新的一代，向需要的人讲授的。或者是老师讲、学生听；或者学生读书自学。我们说的教育主要是指这件事。教育在培养人的能力中的重要性是大家所熟知的。

我在这里把智力和知识分开两部分讲，是强调它们之间有不同，人的聪明如何培养是至今不太清楚的问题，而如何长知识，就比较好办，有一套有效的办法。当然两者又有联系，智力高，知识吸收得快，知识多也有助于提高智力。一个人的见识不能光靠聪明，还得有学问。

不管怎样，人从出生之后，经历不问，学习条件不同，能力也不同，不同在两个方面，一是能力有大小，二是能力的方面不同。前者是说做某一方面工作的效果不同，质和量有高低；后者是说所长不同，有人干某一方面工作的质和量高，干另一方面的工作质和量就低。所以从国家来说，如何把最合适的人放在最合适的工作岗位上就是一个大问题，这就是用人的问题，而其核心是识人的问题。人们爱举历史上伯乐识千里马的故事，甚至说什么伯乐学。有不少青年自以为是向科学进军的千里马，抱怨没有伯乐来认识他，所以对这个问题津津乐道。我们应该科学地对待这个问题。

第一，千里马只是马的一个类型，千里马挽载重车不一定能比上一匹挽重马。而建设社会主义需要各种各样的人才。所以千里马不一定比其他的马高超，要看做什么工作。旧社会鼓吹的所谓“天才”，往往不承认人民当中各行各业的人才，那是一种狭隘性的表现，可以说是阶级偏见，我们不但要有千里马和识千里马的伯乐，也需要其它类型的马和识别它们的在行人。

第二，伯乐的本事是神奇的吗？当然不是，客观事物总是有其规律，要认识这规律。认识规律就那么难吗？也不见得。我们党在几十年的革命斗争中，不就是从千百万革命者中，认出并选拔出一大批干部，又从他们中提拔了优秀的领导人吗？这不是非常成功的吗？选拔革命干部和革命领导人成功了，就说明识别优秀的做革命工作的人的规律是可以掌握的。能知其一，就能知其二，知其三……识人的问题在于研究建设社会主义中各行各业能人的特征，能很快很准确认出这些特征。这才是人才学的任务。人才学要研究的范围是宽广的，不能只限于认出科学研究的人才。[155]

二

从以上所讲的，是从人的才能发展的过程来看人与人的差别和变化。不但从实践和学习的经历来说是如此；从人的生理上来看也是如此。人的中年就不同于人的青年，更不必说人的老年，体力衰退，当然不同于中年和青年。因此不但人与人的才能不同，一个人的才能也随年龄的变化而在变化，一个人青年时最合适的工作，到了中年、老年就不一定合适。如果要使人适合于工作，工作岗位上有最适合的人，人员就必须流动。这个情况在国外是普遍的，没有一个人停留在一个职位上一生不变。

工作的变动还有另一个原因，即科学技术在前进，社会在发展，要人去做的事因此也不断在演变。工作领域在变，要人多的变得要人少了，从前没有的岗位出现了。这个情况在封建社会里，可能不显著，那时历史进程慢，一个人一生中没多大变化。现在可不一样，日新月异，十几年、甚至几年就有变化；在我们国家从现在到 2000 年将有很大的变化。

由于以上的原因，如要最合适的人在最合适的职位上，人的工作岗位不能固定不变，在我们社会主义国家中，问题是怎样流动。是自发的流动，自己去找工作？那将引起社会混乱，是不可取的。我们只能有计划地，由国家通观全局，合理安排。

在我国人事工作中的又一个尚待解决的问题是干部到了老年，安排退休，和退休后如何照顾其生活、如何安排其适当活动。目前我国大约有两千万干部，将来可能随社会主义事业的发展还会更多。如果说一个干部为人民、为国家工作了 40 年之后退休，退休以后平均生活 10 年。四比一，那我国将有五六百万退休干部。这还不算职工，加上全民所有制的退休工人，在近期国家将要管理的退休人员就更多。目前我们在这项工作中规章制度不健全，人员退休之后安排生活及适当工作大都下放给原来工作的单位，成为那里一项负担，以至没有充分发挥退休人员的作用，让他们在欢度晚年时，真能开展一个新的生活，在力所能及的情况下，为人民服务。一个人退休了，国家完全负责养起来，这是社会主义制度优越性的一种表现。我们应该再进一步，把这些有丰富经验的人员，看作是国家的珍宝，而不是消极的负担，这才能充分发挥社会主义所固有的优越性。

我国现行的这种各单位分别各自管理的现状，不但存在于退休人员，就连待业青年也要各单位自理。由此造成的弊端，现在已经发现。其实分散管理的现象还很多，如除少数高级干部由中央集中管理外，绝大多数干部，全部工人，都是各单位自理。培养青年的高等学校，教育部只直接管一部分，还有不少由国务院

各[156]部门和省、市、自治区各自管。中等技术学校绝大多数在各部门自管。至于在职学习，那更是部门自己管了。培养出来的人，分配职务，也就因此分散管理，“近水楼台先得月”，也就难于避免。

我认为这种情况的产生是可以理解的。我们国家毕竟是直接从两千多年的封建社会和一百多年半封建半殖民地的社会制度上建立起来的，中间没有经过大生产的社会制度，而社会主义改造基本完成以后又只有二十多年，时间太短，中间还有“十年内乱”。但现在这种分散的管理制度弊病已很明显，我在以前就呼吁要进行改革，把人员的培养、选拔和使用统一起来，集中管理，国家把爱护和组织管理十亿人民的事真正搞好，一方面培养人民才干，一方面把每一个人安排在最适合的岗位上，做到人尽其才。这也是建设社会主义的一件头等大事，而且是以往的社会和国外所没有的，要我们去开创的一件大事。

三

我们要把全中国十亿人民的培养、选拔和使用，以至退休和退休后的日子安排好，就要由国家建立一个统一集中的分级管理体制。这是不是太复杂了，有可能管好吗？让我们从以下几件事进行具体分析。

第一件是我们党有 60 年管理干部的经验，前面说了，不少是成功的经验，建国以来 32 年也有不少经验。这些经验我们都应该认真地去总结。

第二件是我们还可以参考我国历史上用人的好经验和国外培养、选拔和使用人才的经验。当然社会制度不同，这些经验不能照抄照搬。但资本主义国家的用人经验是在社会化大生产下，在科学技术高度发展下取得的。例如在职人员的定期短期脱产培训，按学习成绩选拔到新工作岗位上，然后再而复始，一次一次选出更强的人，而工作成绩不理想的，可以调到其他岗位上去发挥其所长。这种做法是合乎科学的，我们可以借鉴。

第三件是人事干部档案的管理技术。一集中分级管，就可能要同时权衡成千上万人，要从千万人的档案中去选拔最合适的人。如果用老办法一份一份档案材料去翻看，那的确是办不成的。但现在已经有电子计算机的档案检索系统，查档案可以自动化了，而且比人看快千万倍。只要定了选拔条件，电子计算机还能自动地选最合适的人。档案是记录在磁带上的，还可以不断补充，一个人的工作情况，群众、同事和领导对他的反映以及健康情况都应通过正常渠道，传到档案库，补入档案。这一套技术现在已经比较完善，可供使用。所以不必担心力不从心，忙不过来。

第四件是真要开动这个体制，教育工作，不但要小学、中学、中技、中专、

高等[157]院佼大大发展，而且要有种类繁多的各式各样的短训班，脱产的不脱产的。集中管理，这组织工作是否太繁？回答这个问题是和上一个问题一样，完全可以用电子计算机代劳，没有困难。

第五件是教学工作的现代化，可以大大提高效率，节约花费。这是大家已经知道的“电化教育”，一个有学问、有经验、会教学的老师讲一次，可以录下来，全国播放，千千万万学生听讲。我们现在的广播电视已经开始用这个办法了，效果明显。其实将采还可以搞得更好，用在赤道上空地球同步卫星转播电视节目，或再直接些，用在同步轨道上的直播电视卫星向任何边远地区播放电化教育节目。这项技术也是现成的。而且农村中也逐渐有了电视机，实现这个现代教学方法已不是可望而不可即的了。

第六件是识别人才的本事，这也是可以总结出来的，关键在于找到懂行的人。伯乐能识千里马，不一定能识别其它类型的马。一位物理学教授识别物理研究生，要判断收不收他做学生是不难的，因为他懂得物理研究生所要的特征；即便是不能从考卷答案表达出来的特征，当面谈几句就解决了。所以行家与选拔对象面谈是识别人才的好办法，这是早就证明了的。那是不是在使用我们上面讲的第三件、第四件技术时还得有各类专家在场，才能从详细的档案材料中判断评价？不必，现在也有了用电子计算机的一项人工智能新技术，叫“专家系统”[5]，它能把行家判断评价的做法吸收到计算机中去，叫计算机学会行家的本事，行家不在场时，也能代替行家办事。所以识别人的事也不难办了。

第七件是系统科学和系统工程。我们要实现对全国十亿人民的培养、选拔和使用，从出生到老死，全负责，这是前所未有的大规模的组织管理工作。如果在四、五十年前提这个问题，人们会感到问题太大，一时无从下手。但现在是 80 年代，在这中间发展起来的系统工程[6]和它的理论运筹学已经是成熟的学问，而且正在形成一个学科体系——系统科学，面对这里提出的社会主义人才管理问题就不难了。我们的对象实是一个巨系统，有十亿成员，系统由几个部分组成，如教育分系统，档案库和检索分系统，退休人员分系统等。每一个分系统也会有若干个层次，如：省是一个层次，全国是最高的层次。问题可先在下一个层次解决，但不限于一个层次中解决，解决得不理想可以提到上一个层次去处理，所以整个系统、巨系统还是集中统一的，全国统一。建立并运转这样的人才体系可以称为社会主义的人才系统工程。说是社会主义的，因为这个人才系统是以社会主义基本原则为基础的。

有了以上陈述的这七件可以利用来建立我国人才体制和具体工作的东西，我想只要我们认识到人才问题对建设社会主义的重要性，下决心去推动这项工作，

因为有现成的科学技术可以利用，不会太久，这个崭新的事业是可以办成的。当[158]然这里面要用一些新的设备，有些投资是不可少的，但完成社会主义的人才系统工程本身的投资，比起国家的各项基本建设来，当然要小得多。

任何可以做成的事，也不会是指日可待的，总需要一定的时间。而且任何事物总不可能十全十美，什么问题都没有了。我们的社会主义的人才系统工程搞起来要时间，搞起来了也还需要不断改进；国家在前进，社会主义事业在前进，一个建立了的体系总是跟不上现实的发展变化的。这就是说社会主义的人才系统工程能解决大问题，必须搞，但也肯定不能解决所有培养、选拔和使用的问题，还会有矛盾。有矛盾怎么办？还要靠思想觉悟，要顾全大局。这就是说在人民中坚持思想政治工作是任何时候都十分重要的。人们把思想政治工作看做是建立社会主义精神文明的工作，其实培养、选拔和使用好人民之才也是建立社会主义精神文明的工作。

原载《红旗》杂志 1982 年第 2 期。

参考文献

[1] 钱学森：《从社会科学到社会技术》，《文汇报》1980 年 9 月 29 日，第 3 版。
[2] 《科学·技术·管理》（全国科学学第二次学术讨论会论文集），世界科学社，1980 年。
[3] 汤普森，R. F.《生理心理学》，孙晔等编译，科学出版社，1981 年 1 期，第 3～9 页。
[4] 魏宏森：《人工智能》、《百科知识》1981 年 5 期，75～77 页。
[5] 钱学森、许国志、王寿云：《组织管理的技术——系统工程》，《文汇报》1978 年 9 月 27 日，第 1、第 4 版。[159]

现代科学的结构

——再论科学技术体系学

钱学森

我以前谈过现代科学技术的体系结构[1−4]，认为从应用实践到基础理论，现代科学技术可以分为四个层次；首先是工程技术这一层次，然后是直接为工程技术作理论基础的技术科学这一层次，再就是基础科学这一层次；最后通过进一步综合、提炼达到最高概括的马克思主义哲学。这也可以看作是四个台阶，从改造客观世界的实践技术到最高哲学理论，可以算是横向的划分。纵向的划分就是学科部类的划分了，在一般的看法中，大的部门是自然科学和社会科学，我国现在就有中国科学院和中国社会科学院，以及他们各省、市、自治区的分院两个系统。但我认为如果考虑到今天科学技术的现况和今后的发展，科学技术纵分的大部门应该是自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学和人体科学这六个大部门。怎样看待这六个部门？它们是以什么界限来划分的？总的来说，当然都是人通过实践所认识到的关于客观世界规律的知识。以前传统的观点是：科学部门以对象领域划分，自然科学研究自然界，社会科学研究人类社会。但如此也产生了一个毛病：数学归入自然科学，社会科学就不大用数学。这一缺点已为不少人们认识到了[5]。这引起我从新探讨这个现代科学技术的结构问题：六大部门是怎么划分的，是以对象领域来划分的吗？还是其他的划分法？

本文就讲讲对这一问题的一点看法，提请同志们讨论，批评指正。

一

其实自然科学研究的范围虽说在 16 世纪、17 世纪是自然界，但到了 18 世纪产业革命以后，早已不限于自然界了。今天自然科学的物理、化学、生物学、天文学、地学和其繁多的技术科学与工程技术已经涉及整个客观世界，自然的和人造的。自然科学当然有它的特点，这特点是它的着眼点，看客观世界的角度，也就是恩格斯在大约 100 年前提出的自然辩证法的中心思想：研究物质在时空中的运动；物质运动的不同层次，不同层次物质运动的相互关系。再概括一下，自然

科学[160]是从物质运动这个着眼点、这个角度去看整个客观世界。自然科学家看一个机械制造厂，不着眼于厂的财务、经营管理、经济情况，而把工厂看成材料流动、加工切削的场所，研究其能源消耗、机械磨损、产品的质量和性能等。

也由于自然科学的着眼点是物质运动，所以研究自然科学离不开质量、长度和时间这三个量，称为基本量纲。自然科学这一大部门中出现的其他量都由这三个基本量纲组成，这一重要事实的运用，形成了自然科学中一个非常重要的研究方法，叫做“量纲分析”，它常常使我们能洞察事物的机理。例如：万有引力常数、质量、光速这三个量形不成一个没有量纲的数值，缺少一个长度，而这个长度就是一定质量的所谓“黑洞”的半径。然而，社会科学中的数量，与自然科学的三个基本量纲无关，说不上什么长度量纲、什么质量量纲、什么时间量纲，或它们的组合。因此从物质运动这个角度、这个着眼点，可以把自然科学这一大部门与其他大部门区别开来。也因为同一原因，我们应该把自然辩证法作为从自然科学通向马克思主义哲学的桥梁。

什么是社会科学的特征？社会科学是从什么着眼点，什么角度研究问题的？我以前提出过[2]，从社会科学通往马克思主义哲学的桥梁是历史唯物主义。这就给我们启示，社会科学研究客观世界的着眼点或角度是人类社会的发展运动；社会的内部运动；也研究客观世界对人类社会发展运动的影响，如环境、生态、能源、资源等。人们也许要问，这样就不能说社会科学是以整个容观世界为研究对象的，人类社会只存在于地球上嘛！但我们应该回顾一下，不就在短短的几百年前，我们还不知道地球呢，还以为社会只存在于天圆地方的一块小国土上呢！而且现在我们也知道太阳的活动影响我们的经济，因为它影响地球上的气候和地球上的无线电通讯。至于说将来，人类社会活动还会通过航天技术以及航宇技术的发展扩大列整个太阳系和太阳系以外，社会科学怎么不是研究整个客观世界呢？

所以可以说社会科学是从人类社会发展运动的着眼点或角度来研究整个客观世界的，从社会科学通往马克思主义哲学的桥梁是历史唯物主义。

二

现代科学技术不管是哪一个部门都离不开数学，离不开数学科学的一门或几门学科。所以数学科学是研究整个客观世界，这一点是容易理解的。我们要讨论的是：数学科学是从什么着眼点或角度研究整个客观世界的。胡世华同志已经有文章[6]讲了这个问题，他说数学的哲学理论基础是质和量的对立统一，质和量的互变理论。那也可以说数学科学是从质和量对立统一、质和量互变的着眼点或角度去研究整个客观世界的。我同意这个看法。余下来的工作是进一步从数学科[161]

学的方法论、从数学科学的历史发展把这个概念深化、丰富其内容，使它成为一门学问，一个从数学科学通往马克思主义哲学的桥梁。胡世华同志[6]已经做了工作，但他说[7]还要做下去。欧阳绛同志[8]也提出了这个问题，并且命名这门学问为数学学。这样，大家的看法集中起来了，构筑从数学科学到马克思主义哲学的桥梁现在就应该开始了。

三

关于系统科学，我在前文[3]已经讲过：系统科学的特征是系统的观点，或说系统科学是从系统的着眼点或角度去看整个客观世界。所以，系统科学处理的问题有自然界的，如生物学中的有序化现象；也有社会的，如经济系统、法治系统等[9]。因为统一在系统的观点，所以，如果说系统论是从系统科学到马克思主义哲学的桥梁，那么系统观就是马克思主义哲学的组成部分。

自从提出思维科学[3]后，引起了不少同志的关心和研究。由于这方面的基础工作还很差，只逻辑思维研究得透一些，因此一时大家的思想认识还难于统一。人的受意识控制的思维分为逻辑思维、形象思维和灵感思维这三种形式，是以思维内在不同规律来划分的。有的同志似乎把它们与思维过程的各种不同内容混淆了，提出还有情感思维作为一种艺术思维[10]。如果这样想，那就还可以提出“写作思维”，“科研思维”，“创造思维”……这一类思维实际是把人的三种思维活动运用于某一个方面的思维过程，每一个过程三种思维活动可能有其一、有其二，或三者兼面有之。所以情感思维不是思维科学的基础，是其应用，不宜与逻辑思维、形象思维和灵感思维并列。再一个问题是三种基本思维活动的名称也有些含混：逻辑思维也称抽象思维。而形象思维似乎是文艺工作同志更熟悉，而科学界不熟悉，科学家们更习惯于用直感（heuristic，或直观），也有用物理的（physical）一词，以别于逻辑的、数学的（mathematical）。张光鉴同志[11]更提出“相似思维”这个词。其实根据我自己的实践，这几个词都指的是形象思维。至于灵感思维，其特征是突发性，似可用释家的语言“顿悟”。因此为了进一步讨论研究的方便，不妨称三种基本思维为抽象（逻辑）思维、形象（直感）思维和灵感（顿悟）思维。

怎么能说思维科学是研究整个客观世界的呢？这是因为思维科学[3、4]的目的在于了解人是怎样认识客观世界的，人在实践中得到的感觉信息是怎样在人的大脑中，存贮和加工处理成为人对客观世界的认识的。也因为这个原故思维联系到整个客观世界，而从思维科学到马克思主义哲学的桥梁就是认识论。当然，思维科学发展了，这里说的认识论也将大大发展深化，决不限于经典的认识论了。经

典认识论没有概括关于人脑活动细节的知识，也因而没有新的、将要发展的思维[162]科学的基础，停留在思辨的阶段，局限性比较大。例如：20 世纪 20 年代发展起来的量子力学，虽然实验验证了它的正确性，但 50 多年来从经典认识沦出发，却引起争论[12]，至今没有解决，以致H. Everett，B.S.Dewitt和N.Graham提出奇特的“多世界理论”[13]。这个问题看来要同思维科学的研究和认识论的新发展一起解决。

人体科学是一个既古老而又新颖的科学技术部门[4]。说古老因为它的许多学科是早已建立了的，是有极其丰富的内容的，而且我们对整个人体科学的认识也来源于中国古老的传统，如中医理论和气功。还有现在有争论的人体特异功能，在我国近几年才受到重视。但人体科学又很新颖，因为发扬中国的古老传统，却使人体科学有了新的方向，也就是把人作为一个整体，把人放在整个宇宙中去研究，人要和宇宙联结在一起。这也就是新的人天观。天时、日、月，整个宇宙都在影响人，而人体也能影响外界。所以人体科学是通过人体这个着眼点或角度去考察整个客观世界，不但不能把人体各组成部分隔离开来考察，也不能把人体和外界隔离开来考虑。人天观也会成为马克思主义哲学的组成部分，而从人体科学进一步发展综合提炼的“人无论”，就是从人体科学到马克思主义哲学的桥梁。

以上是对现代科学结构的看法，自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学和人体科学六大部门都各自认识整个客观世界，只不过从各自的着眼点或角度去考察，自然科学从物质运动，社会科学从人类社会发展运动，数学科学从量和质的对立统一、量和质的互变，系统科学从系统观，思维科学从认识论，人体科学从人天观。从不同着眼点或角度的考察，最后由各自的桥梁汇总到马克思主义哲学——人类认识的最高概括。所以只有马克思主义哲学才是科学的哲学；它当然要指导科学技术研究。现代科学也就这样形成一个紧密、坚实的统一体系，现代科学技术的体系。进一步研究这个体系就是科学技术体系学的任务。

这个看法，有没有道理？不应该进一步探讨吗？

原载《哲学研究》1982 年第 3 期。

参考文献

[1] 钱学森：《科学学、秘学技术体系学、马克思主义哲学》、《暂学研究》1979 年 1 期，20～27 页。
[2] 钱学森：《关于建立和发展马克思主义科学学的问题》《科研管理》1980 中 1 期，1～6 页。
[3] 钱学森：《自然辩证法、思维科学和人的潜力》，《哲学研究》1980 年 4 期，7～13 页。
[4] 钱学森：《系统科学、思维科学和人体科学》，《自然杂志》1981 年 1 期，3～7 页。
[5] 刘文：《社会科学也要现代化》，《光月日报》1981 年 12 月 8 日，第 3 版。[163]

[6] 胡世华：《质和量的对立统一与数学》，《哲学研究》1979 年 1 期，55～64 页。
[7] 胡世华谈话。
[8] 欧阳绛：《“数学学”初探》，中国自然辩证法研究会首届年会学术论文，1981 年。
[9] 钱学森：《大力发展系统工程，尽早建立系统科学的体系》《光明日报》1979 年 11 月 10 日，2 版，又见《系统工程论文集》，科学出版社，1981 年，1～7 页。
[10]黄治正、杨安仑：《论情感思维——对于人类思维特别是艺术思维的一种设想》，《求索》1981 年 3 期；又见《新华文摘》1981 年 10 期，167～171 页。
[11]张光鉴：《试谈相似学》，《潜科学》1981 年 3 期，第 39 页。
[12] F. Jammerr：“The philosophy of quantum mechanics” John Wiley＆Sorts，1974。
[13] B. S. Dewitt 和 N. Graham “The many-worlds interpretation of quantum mechanics” Princeton University Press，1973 年出版。
[164]

新技术革命与领导机关的改革

宋　健

现在，新的技术革命已经把人类社会推向一个新的科学时代。历史注定我们必须在这个新的时代中进行现代化建设。在第二次世界大战后的 40 年中，人们曾从不同的角度对当代给予了各式各样的描写，如科学时代，原子时代，空间时代，电子时代，化学时代，信息时代等等。这表明各门科学技术在历史进程中均有飞速的发展，都对社会作出过积极贡献，使社会生产方式和生活方式发生了显著变化，这些变化又必然对社会管理机构的工作方式产生影响或引起变革。系统工程的理论和实践、观点和方法正是在这种变革中诞生和发展起来的，它在一定程度上反映了社会生产和生活方式的变化对上层建筑的影响。所以，我觉得我们各部门在当前的改革过程中，除了考虑政策因素以外，还应该充分注意新的技术革命对管理工作的影响。例如，我们的计划工作应尽量准确地反映现实，安排好明天，准备好后天。规划还要预见到 5 年、10 年以至更远。计划工作的使命是创造尽可能好的未来。仅凭个别人或少数人的经验和独断去治理事业而期望取得成功的时代已经成为过去。狭隘的经验和鲁莽的决断不可能把管理工作向科学化提高。只有充分掌握信息、数据、系统分析和决策模拟手段的领导同志，才能有真正的远见卓识和产生合乎历史潮流的勇气和胆略。

我们各级领导同志，天天在主动地或被动地制订政策和做出各种决定。不少同志常常淹没在大量信息之中理不出头绪，而又苦于有用的信息不足，处于信息饥饿状态。他们不得不在迷雾中徘徊，在无数的会议中消耗光阴，在复杂的形势中叹息。

常听到对人们呼吁改革的问题的回答是：“这个问题很复杂，牵涉面广，需要仔细研究。”但是，5 年、10 年过去了，未见研究的结果问世。大家只得按 30 年前的老规矩办事。

经济体制改革是我国当前面临的艰巨任务。紫阳总理说，我们当前应该一抓改革，二抓开放。例如，价格这个杠杆如何发挥作用？日益增长的价格上的财政补贴怎样才能解决好？等等。

一位经济学家最近诙谐地说：“都是老问题了，议来议去，一团乱麻，总也解决不了。”还说：“需要研究一种 X 方法，要有资料，有数据，要电子计算机，终端，图上作业。光靠座谈会是不行的。”我想他所指的 X 方法就是系统工程。

又如，我们很多部门都感到资金缺乏，但已有的资金却积压很多，有的部门流动资金周转期长达一、二年。因为信息不通，清一次账就要半年，有钱不敢花，担心超支。年度拨款，只许花一次，成亿的资金被压到年底，或者突击花掉，或者被冻结。如果主管部门或主管领导人能及时得到信息和准确地系统分析结论。一亿资金可能顶两亿用，使效益增加一倍。

我们的银行系统实在应该加速改革，现行的方法与几十年前相比没有多大改进，这已经成为流通领域中的一大障碍。应该尽早开始建立电子银行系统，以方便人民生活，便利城乡贸易。拿工资来说，我国现在年工资总额近一千亿元，如果国营企业和事业单位改用电子银行的办法发放工资，银行存款平均每年可望增加数百亿元，全国固定资产投资或教育经费可大幅度增加。至于对人民带来的方便更是无法用数字来估算的。农民抱怨的国库券的安全存放问题也可以得到解决。各省市间的货币流通速度，资金的利用效率都可成倍增加。这将导致我们一些传统的经营思想的改变。

物资的管理改革至今是一个未解决的重大问题。大小单位，层层设库，大量宝贵物资，长期积压，数年后就被当作废旧物资处理掉。而真正需要这些物资的地方却拿不到它，他们不得不申请进口，或停工待料。前几年，当我们每年生产 3000 万吨钢时，在那些成千上万个地址不详的仓库里却积压着 1 000 多万吨。据统计，最近 3 年内，仅由于机电产品积压报废而给国家一些较大的企事业单位造成的损失即近百亿元。每年订货时，必须动员一大批人翻阅堆成山的库存账本，以确定今年还要定什么。我见到有个单位的主要领导人带领大批干部职工，每年要在这些日益增多的积压物资中辗转反侧达两个月之久，以便做到上级关于账、物、卡三符合的要求。由于他们表现了高度的责任心而得到上级的通报表扬。然而这是多么令人伤心的荣誉啊！只要减少百分之一的积压物资就能够建立起一个像样的自动化的物资管理系统，从而取消账簿，改由计算机自动处理，实行物资查询、调度自动化，达到最小库存。但是，直到不久前旧的制度却不允许这样做。因为积压再多，并不违反制度，而要花少量的钱去改进这一管理系统，却是财政管理方式所不能容许的。想改革的人望眼欲穿地等待着有关主管机关制订物资代码和规范。听说有关部门 5 年前就想着手这项工作，至今未见颁布。不知能否很快用计算机管理物资的系统去解放成百万劳苦的物资战线职工和那些具有高度责任心的干部，拯救人们艰苦劳动所创造的宝贵物资，使其不再沉沦到那些不计其

数的大小仓库之中，莫名其妙地等候着变成废品。实践已经证明，系统工程在物资管理系统中所取得的成功是这门技术最感到骄傲的一项成就。

劳动、工资、人事、教育、文书档案等方面的管理和政策制订工作也是系统工程能够而且已经取得显著成就的部门。过去的工资体制方面的弊病，是吃大锅饭情绪的温床和保护者。现行工资等级的评定和晋级方法也在一定程度上和系统工程的基本理论相悖。至今人们仍然孜孜于从各种文件的繁琐规定中寻找喜悦或悲伤，而未能达到用贡献和待遇的统一去发挥人们更高的创造力，这种情况应该尽快改变。权力下放是正确的政策，但对总的趋势的精确了解，对发展趋向的分析，对未来系统的规划设计只能靠系统的集中的分析判断，而不可能在权力下放中得到解决。现代文明的传播，知识和科学技术的扩散，它们的载体的流动，这些宏观现象，都是只能在系统分析中被认识并施加影响的社会运动。这是系统科学所提示给我们的结论。至于职工管理，各项劳动指标的统计，工资管理，职工需求预测等等，系统工程能为之提供全新的高效率的工作体制和方式，就不需赘述了。

国家或省市、地区的资源管理，能源系统的规划，农业工程的建立，国土环境和生态治理，交通运输布局，水利开发和利用，海洋开发的综合研究，人口系统的分析和控制等等，都是当前国内外系统分析和系统工程正在以很大力量进行研究的历史性命题。

国家机关和企事业单位对管理工作进行改革已经成为一股巨大的潮流。工业、农业以及整个中国国民经济的现代化速度将极大地依赖于改革的进程。从系统工程的角度看，我以为领导机关应注意以下几个方面。

第一，要改革机关工作的结构。主要是建立自动化的信息系统，设立职业性的系统分析部门，或者把现有的综合计划局、处改造成这样的部门：实行信息采集和综合、系统分析和政策设计与模拟试验的专职分工，设立系统分析、信息处理、政策模拟等职业的经济师、设计师和工程师等新的岗位，实行新的岗位责任制，逐步把机关工作建立在系统科学和系统工程的基础上。要改变机关的智力结果，增加上述职业的专业人员比重。减少专业重叠和交叉，改变那种人人管“大事”，大事又无人管的局面。适当的会议讨论是永远必需的，但不能把座谈会当成主要的领导决策方法。机关各部门贡献给主要领导同志的东西既不应该是模棱两可的情况叙述，也不应该是个人意见的畅所欲言。领导所真正需要的是数据、事实、状态分析、发展趋势预测和能够影响这种发展趋势的可能政策措施及模拟试验结果。

最近中央适当放宽农村人口生育政策的制订和颁布是国家计划生育委员会用

系统分析方法做了科学预测的结果。按照描述人口发展动力学的方程式，根据1983 年人口普查和千分之一抽样统计数据，对今后几十年内人口数量和计划生育控制指标之间的关系预测简要结果见下表。

	方案 I	方案 II	方案 III
平均妇女生育率	2.7—1.5*	2.7—1.7	2.7—1.7
一胎百分比	46—65%	46—75%	46—65%
二胎百分比	26—30%	26—20%	26—30%
多胎百分比	27—5%	27—5%	27—5%
2000 年人口总数	11.6 亿	12.4 亿	12.4 亿
21 世纪最高人口数	11.8 亿（2008 年）	13.25 亿（2022 年）	13.3 亿（2021 年）

*表内妇女平均生育率 1982 年为 2.7，假定到 2000 年逐步降为 1.5。表内其他各项，第一个是 1982 年实际值，第二个是 2000 年控制值。

上表的意义是假定在城市中平均每对夫妇只生一个孩子的情况，寻求农村和少数民族生育率可放宽的最大限度，以使 2000 年我国人口不致超过 12 亿。这大概只有方案 I 才能做到。所以，即使在农村适当放宽生育政策，生二胎的也不应超过 30%，而且应尽快把妇女平均生育率（在人口学中称为总成生育率）从 1982 年的 2．7 降到 1．5 左右。这种建立在科学预测和政策模拟基础上制订的政策，即使有些误差也绝不会闹出乱子来。

第二，主管工业、农业、交通运输、能源等经济工作的各部委都应该建立以计算机网络为中心的信息系统。在计算机的数据库中建立一个所属事业和企业系统的动态映象，这对各项经济工作的状态分析、趋势预测和政策制订都将有重大意义。随着计算机中汉字问题的解决，另一类自动化文件和事务处理系统也应该加速建立。例如，国务院和中央办公厅以及与国内外法律和重要制度有关的部门的文件档案自动化管理系统的建立和运行，对提高国家和中央机关处理问题的效率及准确程度，保证政策的连续性都有很大好处。另外，组织部门的社会优抚和离休、退休管理，医疗保健管理，公安局的居民身份证管理，国家安全等自动化管理系统的建立，对社会管理的效能提高，对社会长治久安都会有所帮助。

在所有这些方面，我们应该在 80 年代有所前进，开辟新的局面。

我们的通信系统正在改善。最近，我们的试验性通讯卫星的发射定点成功，为彻底解决国内长途通讯奠定了物质基础。几年以后，我们的通讯卫星将提供近万条昼夜畅通的电话和数据传输线路，这将根本解决全国各城市之间、各地区之间、地方和中央之间的各种通讯和数据传输手段。这无疑能对各种信息网络的建立提供最基本的保证。

第三，为实现上述两项管理现代化的改革，我认为国家机关，省、市、自治

区领导机关，都应大量吸收专业技术人员参加这些工作。要有一大批自然科学和技术科学工作者为社会科学服务，为国家管理工作服务，这是国家管理现代化的必然趋势。无论是系统分析、政策模拟，还是自动化信息系统的建立，都要有社会科学工作者和技术科学工作者的亲密合作才能奏效。这是新技术革命所带来的不可避免的前景。老同志要认识这个新的趋势，推动这个潮流的发展，兴高采烈地迎接这个时代的到来。当然，这不是说技术人员能够代替具有多年管理工作经验和对所属系统有深刻的感性认识的老同志，更不是说各级主要领导同志都要由技术人员来担任。但是，在建立系统分析机构和自动化信息方面，没有技术人员的参加是不行的。

新的技术革命，不管你怎么称呼和描写它，已经或正在来到人间。系统工程的出现和广泛应用是新技术革命在管理工作中的具体体现。我们应该汲取人类发展史上的教训：每当社会生产方式和生活方式必须改变时，凡不愿接受这种转变而固守旧习的民族或国家就不可能巍然屹立于世界民族之林；凡不能适应从狩猎到畜牧或者从采集野生果实到农业种植的民族，大都早已衰亡；而跟不上产业革命步伐的民族则不得不长期忍受落后和被侵略之苦。今天，处于这种科学技术飞速进步的时代，我们应该奋起努力，勇于改革。国家机关的历史使命是组织全国人民向现代化建设进军，因而，首先应该使自己的工作不断向现代化科学水平提高，给全国人民做出榜样。科学技术的进步：新技术革命以及与其共生的系统工程是人类共同的财富，也是我们自己的财富，它不是异己的东西，我们有权利、有义务享用它的成就，就像我们在自己的土地上收获的西红柿、墨西哥的小麦、荷兰种奶牛的奶、意大利蜜蜂酿造的蜂蜜一样，它是我们自己的东西。任何执拗和任性，留恋过去，拘泥旧习，只会延误现代化建设的进程。

毛泽东同志在 35 年前就说过：“夺取全国胜利，这只是万里长征走完了第一步。如果这一步也值得骄傲，那是比较渺小的。更值得骄傲的还在后头。在过了几十年后来看中国人民民主革命的胜利，就会使人感觉那好像是一出长剧中的一个短小的序幕。剧是必须从序幕开始的，但序幕还不是高潮。中国的革命是伟大的，但革命以后的路程更长，工作更伟大，更艰苦。”

党的第十二次代表大会所确定的现代化建设的任务就是这样一种更伟大、更艰巨的任务。包括系统工程在内的新的技术革命将推动我们的领导工作和建设工作走向新的高潮。

本文是在中央和国家机关司局长以上干部新技术革命知识讲座上的报告的部分摘要。原载《科技进步与对策》1984 年第 1 期。

从现代科学看人口问题

宋　健

在科学发展的历史中，人口问题历来和社会学密切地联系在一起，总是被认为属于纯社会科学的范畴。近几十年来，情况有了很大的变化。现代科学技术的成就给人类认识世界，包括认识人类自身，提供了大量新的事实，为人类改造客观世界和主观世界——人类自身提供了新的科学依据。今天，人口问题已经不再是纯社会科学的研究课题了，只有与现代科学技术成就结合起来才能更清楚地看到社会人口问题的全貌和实质，才能看清人口发展的规律，从而正确地制订人口政策，科学地解决人口问题。

研究人口问题离不开自然科学的成就，这已为科学发展的历史所证明。进化论科学地阐明了地球上包括人类在内的生物界的发展历史和人类在自然界（生物界）中的地位，正确地解释了从猿到人的革命性转变发生的原因和过程。天文学弄清了人类赖以生存的地球在宇宙中的地位和环境。马克思主义用历史唯物主义的观点发现了人类社会自身发展进步的根本规律。近几十年来科学技术上的伟大成就又进一步为人类认识和改造自身及其生存环境提供了新的科学观点和工具。在人类发展的整个历史中，“科学是一种在历史上起推动作用的、革命的力量”[1]。人类世代积累起来的科学知识和技术成就引导着人类本身从蒙昧和幼稚中走了出来，摆脱了对鬼神的迷信，抛弃了狂妄自大的宗教统治，走上了科学思维的道路。

然而，我们对人类自身发展过程和生存环境的认识并没有完结。一方面，这是因为人类自身的发展和赖以生存的环境的变化过程没有完结。另一方面，人们常常容易为横亘在思想中的自尊心、虚荣心和某些偏见所迷惑，从“感情上”不愿意接受那些已经被科学所证明了的结论，或者不敢去研究那些可能导致改变人们已经习惯了的观念的科学命题。当人们用“人定胜天”的口号鼓舞大家去改造自然的时候，往往不愿承认人类的能力是有限度的，例如无力改变地球的轨道而使冬天的严寒不再来临；当人们为我们祖国的地大物博而感到正当的自豪时，又不愿注意我国的土地和资源毕竟是有限的；在肯定“世间一切事物中，人是第一

个可宝贵的”这一正确论断时却排斥人口的发展必须有所控制的科学概念和理论，等等。20 年来正反两方面的经验教训告诉我们，在建设现代化的社会主义祖国的过程中，应该坚决屏弃以感情和偏见去代替或排斥科学结论的倾向。在研究人口问题和制订人口政策时尤其应该如此。

本世纪以来，特别是近 30 年来，科学技术取得了人类历史上以前任何时期所不能比拟的成就，这对我们认识和研究人口问题有密切的关系。下面从几个方面讨论科学技术的发展对人口问题可能产生的影响。

零自然增长率是人类社会不可避免的目标

统计数字表明，近百年来世界人口的增长速度达到了人类历史上的高峰。据统计，人类在地球上生存了几百万年，于 1830 年总人口达到 10 亿；但是此后 100 年中又增加了 10 亿，1930 年世界人口达到 20 亿，从人口增长速度来看，100 年相当几百万年；而增加第三个 10 亿只花了 30 年，1960 年世界人口为 30 亿；增加第四个 10 亿仅仅花了 15 年，1975 年世界人口接近 40 亿；预计在本世纪的后 20 年中平均每 10 年增加 10 亿，到 2000 年世界人口将超过 60 亿。总之，从 1830 年算起，世界人口每增加 10 亿的时间间隔是 100 年、30 年、15 年、10 年等等。

我国人口的发展情况也类似。在清朝初期（1760 年）有 2 亿人口，1900 年为 4 亿，1954 年为 6 亿，1969 年为 8 亿，预计 1982 年将超过 10 亿。中华民族生息繁殖了几十万年，于 1760 年左右发展到 2 亿人口，此后每增加 2 亿人口的时间间隔为：140 年、54 年、15 年和 13 年。

地球在人类出现以前已经经历了 40 多亿年，而人类的出现才是 100 万年前的事。比起地球上生物界的历史人类是出生最晚的新成员。人类进入文明社会才有几千年，进入现代化社会才几十年。人类的历史主要的将是我们的子孙后代的历史，他们世代相传，将要生存发展几亿年。从这一点出发就可看到，无论是世界人口还是我国人口的增长速度都嫌太快。现在世界人口每年增长近 8000 万，如果保持这个速度，1 万年以后每平方公里的陆地上将有 1 万人，这当然是不可想象的。为了保持今后人类社会人口的稳定，迟早要实现零自然增长率的人口状态，无论是哪个国家都是如此，这是不能避免的前景。否则，即便保持每年万分之一的增长速度，世界人口在数万年后将增长几万倍。全部地球表面上都住满人，每平方公里上也要住数万人。因此，对久远未来的后代来说，就是几万分之一的年自然增长率也是不能接受的。

用现代控制论的科学方法可以证明，为了使人类社会将来能保持一个适中的人口数量和保持人口自然增长率为零，即每年出生的人口和死亡的人口相等，平

均每个育龄妇女生育子女数应在 2．1 和 2．2 之间。任何时期大于零的自然增长率都将导致人口的猛增，因为人类后代的历史实际上是无穷的。但是，在现阶段我国人口基数很大和青少年占人口一半以上的情况下，如果保持每个妇女平均生 2 个孩子，我国人口还要持续增长 70 年，到 2050 年人口将达到 15 亿 4000 万以后才能大致保持在零自然增长率附近。考虑到我国耕地面积 70 全国每人平均只有 1 亩地，现阶段每个妇女生两个孩子也嫌太多。

为了子孙后代的长远利益，我们必须接受零增长率这个科学概念。并尽早采取措施向这个方向过渡。50 年代以前，当中国人口只有 5 亿左右，世界人口还只有 25 亿时，人口问题并没有引起人们广泛的注意，就整个世界来说人口发展是盲目的。今天情况完全不同了。现在世界人口和我国人口都已增长了近 1 倍。在适宜于人类居住的国家和地区已显得相当拥挤，控制人口增长已成为很多国家，特别是发展中国家面临的紧迫问题。另一方面自然科学的渗入已经把定量人口学变成一门准确的科学了。在控制论和电子计算机的帮助下，定量人口理论、人口预测和人口控制等问题都可以比较准确地得到解决。人类自身有计划的发展时代已经到来。

地球以外人类无处迁居

几千年来，人类幻想着能在“九重天外”找到自己的同类和邻居。近几十年来人们仍然常常谈论人类迁居到其他星球上居住的可能性。宋朝诗人辛弃疾有一首著名的词《木兰花慢》说：“可怜今夕月，向何处，去悠悠？是别有人间，那边才见，光影东头？是天外，空汗漫，但长风浩浩送中秋？飞镜无根谁系，姮娥不嫁谁留？”那时人们相信月亮上是有人居住的，这是 800 年前的事。1969 年 7 月 20 日美国宇航员第一次登上了月球。以后共有 18 人先后去过月球，结果完全证明了天文学家早已作出的科学结论：月亮是一个没有空气，没有水，只有一片荒沙和砾石，从来没有过生命的死寂星球。如果没有特殊宇宙服的严密保护，任何生物将立即窒息而死。嫦娥和玉兔从来没有存在过，那不过是古人的浪漫想象罢了。

直到前几年，科学家们还在期望着能在太阳系中靠我们最近的火星上找到类似生命的东西。近几百年来，人们从望远镜中看到上面好像有“运河”，有“冰雪”和绿色的“草地”。1976 年 7 月 20 日海盗 1 号飞船第一次安全降落在火星表面，发回了清晰的照片和全面的探测数据：火星表面气压太低，相当于地球上 30 公里高空的大气密度，而且主要成分是二氧化碳，几乎没有氧气，温度时常达到摄氏零下 130 度，也没有发现任何有生命的东西。无论将来是否能找到最低级的生命，

火星上不是人能居住的地方，这已是肯定的事实。1975 年 10 月 22 日一艘飞船降落到离地球最近的第二个行星金星上，报回令人生畏的数据：表面大气稠密，大气压力比地球上的大 100 倍，几乎全部是二氧化碳，昼夜温度都在摄氏 500 度左右。地球上的生物置于这种条件下将立即化为灰烬。1974 年和 1975 年水手 10 号飞船三次掠过水星，发回的数据表明，它和月亮一样的荒凉和死寂；没有空气，夜间温度零下 160 度，白天是零上 330 度。在太阳系的其他外行星上，因为离太阳太远，更不可能具备人类生存的条件。

在太阳系以外寻找人类的同类的研究工作方兴未艾，正在大力进行中。但是，天文学已经查明，离我们最近的另一个“太阳”是半人马座比邻星，离地球约 4 光年（约 40 万亿公里）。乘坐以每秒 30 公里的速度前进的飞船需要 4 万年才能到达。至于它周围有没有行星？行星上有没有人类可以生存的条件？科学还没有作出回答。

和几千年人类的善良愿望相反，科学已经证明在 40 万亿公里范围内的“九重天外”没有人间，人类赖以生存和发展的地球是浩瀚宇宙中的一叶孤舟，是沿固定轨道绕太阳旋转的一艘“飞船”。在太阳系的周围人类没有近邻可以相互召唤，几十万年内地球这艘飞船不可能找到可以停靠的“基地”，不存在人类可以迁居的天外“绿洲”。

保持生态系统的稳定和平衡是我们对子孙后代的责任

地质科学告诉我们，地球已存在了 46 亿年以上。10 亿年前出现了原始生物；4 亿年前在海洋中出现了鱼类；2 亿年前出现了爬虫类，同时在陆地上产生了大量的森林；1 亿年前出现了哺乳类动物；仅在 100 万年前产生了猿人——人类的祖先。人类及其祖先的发生和发展完全依赖于地球上的生态系统，后者是前者的摇篮和襁褓。首先，人类生存须臾不能缺少的空气主要是植物界制造的。地球上的原始大气成分和现在金星和火星上的一样，几乎完全是由二氧化碳组成的。植物界，主要是森林，在生长过程中吸收了碳而放出了氧气。植物每生长 1 吨能放出 2．5 吨氧气。地下贮藏的每 1 吨煤或石油都曾为大气层贡献过 2．5 吨以上的氧气。所以今天的大气中含有足够的氧气供人们呼吸。另外，处于 40—60 公里高空的臭氧层吸收了太阳的紫外射线使人类免受伤害。总之，由生态系统所维持的大气层是人类的保护伞和“宇宙服”。

在人类没有出现以前，一半以上的陆地上布满了森林。随着人口的增多，为了扩大耕地面积，森林被砍伐。全世界现在森林覆盖率约为 30%左右。而我国只有 12%。据统计，从 1963～1973 年这 10 年间世界森林面积减少了 10%。如果按照

这样的速度减少下去，100 年以后森林将完全消失。一旦我们烧尽了地下贮藏的全部煤炭和石油，又毁掉了全部森林，大气中的氧气将大为减少，二氧化碳要大幅度增加，以至于逐步回复到原始大气的状态。现在科学家们已经测量到大气中的氧在减少，二氧化碳在增加，以至于气象学家预报说今后几十年内地球上的气候要发生明显的变化。

人类的衣和食也完全依赖于生物界提供，就连人造纤维也靠古代生物界埋藏在地下的残骸——煤和石油作为原料。随着人口的增加，世界上现在平均每人只有 5 亩耕地，而我国每人仅有 1 亩半地。世界人口若再增长 10 倍，平均每人将只有 5 分地。如果我国人口增长速度保持 1975 年的水平，100 年后每人平均仅有 3 分地左右，这是我们的后代不可能接受的。据美国国际粮食政策研究所推算，现在世界粮食增长赶不上人口增长速度。1985 年以后如果人口增长速度不能降下来，每年将短缺 1 亿吨粮食和 5000 万吨蛋白质。为了满足人类对蛋白质的需要，有可能用细菌蛋白代替动物蛋白，人类不得不转向吃细菌以保证足够的营养。

为了增产粮食，要大量增加化肥和农药的生产。据统计，从 1951 年到 1966 年世界食品生产增加了 34%，而为此氮肥生产增加了 146%，杀虫剂增加了 300%。据生态学家统计，由于大量施放化肥和农药，江湖、河流、海湾、河口已在很大程度上被污染，已杀死或灭绝了 280 种哺乳类动物、350 种鸟类和 2 万种植物。随着人口的增长，经历了几千万年的稳定的生态系统在近百年中，特别是近几十年中，正在发生着巨大的变化，这是毫无疑义的。

森林面积的减少，平均每人耕地面积的减少，粮食供应的短缺，蛋白质的短缺，污染的加剧，自然资源的消耗等等，所有这些都与人口的增长成比例的发展。随着科学技术的进步，人们已经能够比较准确地统计和预测上述各个方面的现状和发展趋势，给出比较确切的数据，这是现代化社会的一个显著的特点。人口问题和生态系统的关系已经不再是抽象讨论的对象了，只有具体的定量的研究才能得到科学的符合实际情况的结论。

无论人类在科学技术上取得了多么辉煌的成就，面对着世界上 43 亿人口和中国的 10 亿人口及其很高的增长速度，我们绝不应该“过分陶醉于我们对自然界的胜利”，而是应该记住：“我们连同我们的肉、血和头脑都是属于自然界，存在于自然界的；我们对自然界的整个统治，是在于我们比其他一切动物强，能够认识和正确运用自然规律”[2]必须承认，人口数量越多，人类为了生存而向自然界和生态系统攫取的资源就越多；另一方面，人们的生活水平越高，工业越发达，需要自然界和生态系统提供的东西就越多。然而自然界稳定的支付能力是有限度的。为了保证给子孙后代留下或创造良好的生存条件，我们不能超过限度地向自然界

攫取资源，更不能采取竭泽而渔的办法去破坏生态系统的平衡和稳定。要提高人民的生活水平，发展现代化工业和农业而同时又要保持生态系统的稳定，必须有计划地控制人口的发展，在必要时，适当地减少人口的数量，逐步达到一个适度的人口状态，舍此没有别的出路。

对待科学的结论不存在什么“悲观主义”和“乐观主义”的区分，凡是科学的结论，我们都应该严肃地、认真地对待它，而不管你对这些结论是否特别“喜欢”。我们只能用科学的态度去认识和运用自然规律，按科学的规律去解决人口问题和生态系统的关系。在这里，执拗的自尊心和传统的偏见都是毫无用处的。

共产主义远大理想和人口控制

早在 100 多年前，当世界人口总数还只有 10 亿多一点的时候，恩格斯就提出了控制人口的可能性。今天，控制人口增长已经不是抽象的可能性，而是我们面临的一个现实的战略任务。我们全党和全国人民已经开始了向四个现代化进军的征途。我们的目标是建设一个现代化的强国。在制订社会主义建设长远规划和设想共产主义的远大目标时，必然要研究确定中国 100 年后理想的人口数量这个根本性问题。中国 960 万平方公里的土地上能够养育的理想人口数量是多少？ 100 年后中国理想的人口状态是什么？这是当前就应该研究的战略性问题。这是因为人口发展过程惯性很大。一个人的平均寿命在 70 岁左右。用控制人口出生率的办法去控制人口状态，要使人口数量有显著的变化而达到理想状态，需要费 100 年以上的时间。例如，我国从 1964 年到 1978 年这 14 年间人口净增了 2．5 亿。人口预测表明，如果从现在起全面实现每个育龄妇女只生一个孩子，要想回复到 1964 年 7 亿人口的水平需要？5 年的时间。考虑到可以接受的人口年龄结构等方面的限制就要费时 100 年以上。这就是说，要想纠正过去十几年来敞开生育的错误，克服这个错误所造成的后果，需要花费十倍以上的时间才有可能。为了在 100 年后社会人口数量和年龄分布能够达到某种理想状态，从现在起就要制订一个长远规划并立即着手执行。

中国最终的理想人口数量应该稳定在什么水平上？现在人们议论纷纷，意见差别很大。有人认为 3 至 4 亿为好，也有人认为应保持在 7 至 8 亿左右。关于这个问题在别的国家中也有过热烈的讨论。例如，英国生态学家根据英国本土的资源推算，现在 5600 万人太多，应该逐步降到 3000 万人，即减少 46%；荷兰科学家研究的结果是现在的1350万人口已经超过了4万平方公里上的生态系统所能负担的限度，应该在今后 150 年内降到 500 万，即减少 63%；而苏联科学家们则认为他们的 2240 万平方公里上的资源能充裕地养育比现在 2.5 亿多得多的人口。所

以至今仍在执行鼓励生育的人口政策。

从现代科学技术的观点来看，确定理想人口数量是一个客观存在的科学问题。现代科学技术已经为我们直接研究这个问题提供了理论基础、方法和工具，这就是马克思主义的社会科学，系统工程，控制论和电子计算机。今天，我们基本上掌握了我国耕地、森林、草原、江河湖海等生态系统今后可能达到的支付能力，即再生性资源的极限值，也可以估算出非再生性资源的贮量和今后的开采速度。对今后 100 年内的工、农业和科学技术的发展水平也同样可以作出概略的估算。这些都是研究理想人口目标的基本依据。

其次，人口发展目标确定以后，现代控制理论中的优化方法可以帮助我们定量地确定为达到这个目标所需要的时间，定量地计算出今后应采取的长期人口政策，即每个年代的妇女平均生育数量的规划。在进行人口发展规划计算时，在电子计算机的帮助下，能够考虑到各种限制条件，如人口总数的限制，劳动力人口的下限，社会抚养指数的限制以及社会心理学方面的限制等等。我们能够在满足或接近所有可能的限制条件的情况下选择一种或数种最优的方案，供国家和人民去选择和参考。一旦人口最终目标和达到这个目标的长期人口政策选定以后，人口预测理论又可以提供今后人口发展的具体数据，给各部门和各条战线提供制订长远规划的依据。

把人口增长速度降下来，不仅是当前我国四个现代化建设的紧迫任务，也是关系到子孙后代的大事。

我们绝不应该保持前两年每个育龄妇女平均生 2．3 个孩子的生育水平，而使 100 年后人口超过 20 亿，让子孙后代在每人 5 分耕地上去安排他们的生活。尽快地把我国的人口自然增长率降下来，降到零或接近于零的水平，这是我们对子孙后代应负的历史性责任，是关系到中华民族前途的战略性任务。对当前我国人口状态的分析和今后发展趋势的预测表明，为使我国人口将来不再有大幅度增长，应该在今后 30 到 40 年的时期内大力提倡每对夫妇生育一个孩子。这是为了克服从 60 年代到 70 年代人口激增所造成的后果不得不采取的紧急措施，是为了纠正我们过去在人口政策上所出现的错误所必须付出的代价，是根据我国当前的实际情况权衡利弊而作出的最优选择。如果我们不从现在开始就大力控制人口增长，刹住人口激增的势头，几十午后我们将面临更多更严重的社会问题，给四个现代化带来更多更大的困难。

半个多世纪以来，美好的社会主义前途和远大的共产主义理想激励着人们前赴后继、奋斗牺牲。无数革命先烈为此献出了他们的宝贵生命。今天，为了在祖国的土地上建设高度的社会主义物质文明和精神文明，为了给子孙后代的幸福生

活开辟广阔的道路，为了远大的共产主义理想，我们的青年一代一定会在党的领导下作出新的卓越的贡献。

原载《光明日报》1980 年 10 月 3 日。

参考文献

[1] 恩格斯：《在马克思墓前的讲话》，《马克思恩格斯选集》第 3 卷第 575 页。
[2] 恩格斯：《自然辩证法》，《马克思恩格斯选集》第 3 卷第 518 页。

悲观、乐观和未来学

宋　健

未来学是一门科学。它的任务是根据客观世界的发展规律，用科学的方法去预测未来。现在研究将来可能发生的事，是根据到目前为止我们已经掌握了的科学知识，以社会科学、自然科学和技术科学已有的原理、理论、定律和法则等等作为科学基础。未来学中所用的研究方法应该是科学的方法，即在社会科学、自然科学和技术科学中已经被实践证明了是正确的方法，或者虽然尚未直接被证明，但合乎科学的逻辑推理的方法。

对未来进行预测的准确程度取决于我们对所研究的过程（社会过程或自然过程）的运动规律的认识深度。对客观规律认识越完全，预测就越准确。例如，天文学可以预测 1000 年后日、月、星辰的位置而精确到分、秒，预报今后几千年的日、月蚀发生的准确时间和经过的地区，这是因为天文学已经是一门精密的科学。天体力学的一些基础定理已经被实践证明是完全正确的。在另外一些领域里情况可能完全不同。例如，对某些社会现象，包括政治的、经济的发展过程的定量研究至今还不完善。在这里，我们常常受着许多限制，“不但常常受着科学条件和技术条件的限制，而且也受着客观过程的发展及其表现程度的限制，客观过程的方面及本质尚未充分暴露”[1]，所以认识还有待于深化。在这些地方，未来学中的预测准确程度就不可能很高。这种不准确性的存在是不可避免的。

未来学既然是一门科学，它和随心所欲的臆测或科学幻想毫无共同之处。和对待别的科学研究工作一样，我们应该严肃地、认真地对待未来学中得到的一些科学结论，而不管你对这些结论“喜欢”与否。只要它是科学的结论，无论它的准确程度如何，我们都必须认真地研究它，准备承认它，接受它，并在今天的工作中想到它，参考它。按照个人的或部分人一时的“感情”去“喜欢”或藐视它都不是科学的态度。和对待其他学科中的研究工作一样，对未来学中的一些研究结果的审查，应该首先看命题是否正确，前提是否合理，所用的方法是否科学。如果在这几个方面不正确，无论结论如何，都是不足信的，可以推翻它。然而，我们不能只看它的结论是属于“悲观派”还是“乐观派”的而去批评它以至于去批判它。

用不科学的方法去评论某种科学结论的做法是极端有害的。由于少数人的[178]偏见，执拗的“感情”或狭隘的自尊心，轻率地对待科学结论，在人类历史上曾经付出过昂贵的代价。中世纪宗教统治者的狂妄自尊的“感情”把科学当成邪恶，把哥白尼的“日心说”当成罪恶而烧死伽利略，这种悲剧现代人也不应忘记。40 年代曾有人以“革命的感情”为理由围剿过控制论，优生学，以至于批判进化论。50 年代人们又以“人口论”的感情批判了马寅初先生的新人口论。“人定胜天”无疑是个很“乐观”的口号，作为浪漫主义的文学语言或许很好，但它绝不是科学结论。当气象学家预测说 100 年后的某一个冬天北方仍会出现严寒时，我们只能接受这个概念，因为这是科学结论。你不能改变地球的轨道，尽管我们并不喜欢严寒而更喜欢春天。

恩格斯于 1880 年曾预测过我们赖以生存的地球的前途：[2]“也许会经过多少亿年……无情地会逐渐到来这样的时期，那时日益衰竭的太阳热将不再能融解从两极逼近的冰，那时人们愈来愈多地聚集在赤道的周围，但是最后就是在那里也不再能找到足以维持生存的热，那时有机生命的最后痕迹也将逐渐消失；而地球，一个像月球一样死寂的冻结了的球体，将在深深的黑暗里沿着愈来愈小的轨道围绕着同样死寂的太阳旋转，最后……”。恩格斯预测的是多少亿年以后的事，却没有人特别喜欢这个预测，因为这毕竟是属于“悲观派”的结论。然而，根据到目前为止我们所掌握的科学知识和可以预见到的技术发展水平来看，我们只能接受这个科学概念。

屏弃狭隘的偏见和自尊心，限制和改造那种靠不住的执拗的感情，用科学的态度严肃认真地对待科学预测的结论，在未来学这门科学中尤为重要。

原载《未来学 31981 年第 1 期。

参考文献

[1] 毛泽东：《实践论》。
[2] 恩格斯：《自然辩证法》。

社会科学研究的定量方法

宋　健

借助于数学工具，用定量描述的方法去研究各种社会现象的特征及其发生和发展的进程，近来已成为一种潮流。几十年来，在社会科学的各个领域，如政治学、经济学、军事学、管理学、人口学和心理学等方面都可看到这种趋势。在我国，应用定量方法作研究的社会科学工作者也与日俱增，有的已经取得了可喜的成绩，对解决我国社会主义现代化建设中的某些重要问题起着越来越大的作用。然而，对在社会科学领域运用定量方法的科学性和所得结论的真实性，目前人们的看法还很不一致。本文的目的是讨论定量方法在社会科学研究工作中的地位和意义。

一般说来，在任何一门现代精密科学中，对数量关系的研究是科学概念形成的基础，在社会科学中也不应例外。现代科学技术和社会统计技术的进步为社会科学的定量研究创造了条件并开辟了新的道路。尽管今天人类所掌握的数学理论和技术工具尚不足以描述所有的社会现象，社会科学各部门向定量化和精密化的方向发展却是现代社会中的必然趋势，而目前仅仅是其开始。马克思、恩格斯和很多科学先驱们所向往的“自然科学和社会科学一体化”的进程已经出现并正在加速发展。今天，模型方法和仿真技术的进步使我们在政治、经济、教育、军事、人口、管理等等方面的研究工作有可能在实验室内作仿真试验，以求更深入和更全面地认识所研究的社会现象的实质，至少可以部分地避免或减少为检验某项政策的正确性和效果，而在社会实际生活中进行试验所可能带来的风险和损失。对各种社会问题进行定量研究是社会科学在我国社会主义现代化建设事业中的一个十分重要的任务。

一、对量的研究是科学抽象的重要条件

社会科学是以社会现象为研究对象的科学，它的任务是研究并阐述各种社会现象的特征及其发展规律。和任何一门科学中的情况一样，探索社会现象及其发展规律必须依靠科学的抽象。通过对社会现象的实践观察，把共性的特征抽象出[180]来形成概念，赋以严格的定义，再用逻辑推理和试验的方法去发现概念范围内的事物状态和发展规律，这就是认识社会。然后，根据被发现的规律去拟定计划，制订政策，付诸实施，以影响社会现象的发展方向和进程，这就是改造社会。

没有科学的抽象就不可能有真正的社会科学。“物质的抽象，自然规律的抽象，价值的抽象及其他等等，一句话，那一切科学的（正确的、郑重的、不是荒唐的）抽象，都更深刻、更正确、更完全地反映着自然”。[1]鲁迅曾批评古希腊学者们缺乏这种科学抽象的能力，“探索大自然必须依靠抽象概念，而希腊学者却没有这种东西……因为要确定这种概念的含义，没有逻辑学的帮助，是不能奏效的。而当时那些学者们竟想用今天我们用滥了的文字去揭开这宇宙之谜，而离开了根本！”[2]

科学的概念抽象历来有两种：一种是反映事物量的关系的量的概念抽象，另一种是反映事物质的方面的概念抽象。质的特征往往是由量的特征表现出来的，所以量的抽象，相比较而言，是更具体和更直接反映客观事物的东西。而质的概念抽象往往要以量的抽象为前提，是对量的关系所反映出来的事物的质的概括描述，因而又叫第二阶的概念抽象。例如，我们说“三中全会以来我国城乡人民的生活水平有所提高”，这个概念的形成是基于对量的分析作出来的：“我国人民平均每天从食物中得到的热量最近三年中已经从 1978 年的 2311 千卡提高到 2666 千卡，增长了百分之十五点四”。[3]这里所列数字是一种量的抽象和概括，它并不是说某个具体的人某年某日得到了这么多热量的食品，而是按统计平均的方法去概括和抽象出来的一个特征量。上面的第一句话则属于第二阶的概念抽象，或者叫质的抽象。在现代精密科学的研究中，在没有量的依据的情况下而提出的概念性论断，在没有被证实之前应该如实地看成是假设或猜测，还不能当作科学概念被人们接受。在现代社会科学中，定量研究毫无疑问也应该是概念抽象的重要方法。如果有人完全不作数量分析，或者在没有事实根据的情况下去论断某种社会现象的发展规律，那么他所论断的就是他还不甚了然的东西。

列宁曾提出：“应当记住一个原则：在社会科学中（也像在一般科学中一样），所研究的是大量的现象，而不是个别的事件。”[4]统计学是关于从大量现象中抽取量的特征的科学理论，它提供了采集、集约和处理数据的科学方法，能定量地给出各种被抽取的量的特征的精度和可靠程度。为了采集、存贮、集约和加工统计数据，在人力所不能及的情况下，要应用数字通讯和计算机技术。所以，数学是对社会现象作定量研究的科学武器，计算机技术则是对社会现象进行量的研究的技术工具。计算机技术的出现和广泛应用为社会科学的研究工作开拓了新的前景。

不应该把质的概念抽象和量的研究对立起来，它们是人类认识世界和改造世界的科学方法中相辅相成的两个方面。在现代科学中，定量研究是正确的科学概念形成的重要条件。在社会发展过程中，描述社会现象特征的量的变化必将导致[181]概念的变化。一旦旧的概念不足以包括发展中的量的变化规律，原有的概念

就应该修改，或者抽象出新的概念，这就是实事求是的科学态度。

二、向精密科学过渡

在现代自然科学领域里，没有定量的分析，没有精确的量的概念和数学描述，就没有任何一门现代科学。一切以定量研究为主要方法的科学在科学史上曾被称之为“精密科学”，以区别于那些主要依赖于思辨方法的文字描述去阐明客观现象并形成概念的“描述科学”。在研究自然现象的过程中，从一般概念的叙述过渡到寻求精确的量的关系和量的发展规律，始终是自然科学家们奋力追求的目标。在每一门现代自然学科的发展史上，我们都可观察到从定性到定量的转变，因为定量描述能使人们更深刻、更细微、更准确地描述自然现象和规律。例如，生物学曾经是一门描述性科学，达尔文的进化论是一个伟大的典范。然而近代的细胞遗传学建立以后，在分子生物学的水平上应用精密试验的定量研究方法，把进化论从文字描述的科学提高到以数学分析为主的水平，使进化论向精密科学过渡迈出了决定性的一步。[5]

近几年来，在社会科学领域内我们可以看到完全类似的发展趋势。社会科学家们正在完成从定性描述为主到定量描述为主的过渡。经济学的变化可以认为是一个典型。由于文字描述的局限性，经济学在资本主义社会一度曾被人们称之为“沉闷的科学”。计量经济学的出现使它面目一新，获得了巨大的生命力。计量经济学今天已成为经济学中最重要的组成部分。经济学家已经学会从复杂的经济现象中分离出足以代表社会经济状态的若干独立变量，找到了各种变量之间的依赖关系，写出了各种形式的经济平衡方程式；成功地用发展方程（常常是差分方程或微分方程）去描述社会经济（宏观的或微观的）发展过程；进行短期和长期经济发展预报；把变量区分为受控变量（内源变量）和控制变量（外源变量），寻求控制经济发展的方法；评价各种可能的经济政策，对特定的政策的后果进行预测；用优化技术去寻求使社会经济向人们所希望的方向发展的最优的经济政策，等等。这样一来，历史上曾经是最难以捉摸的经济学朝向定量研究的方向发生了深刻的变化，成为精密科学行列中的一员。

另一个典型是管理科学。几十年前社会管理曾经是一门最没有头绪的社会行为。在资本主义社会中，在很大程度上依赖于统治者个人或少数人在其阶级地位的支配下所表示出来的意志和才能。然而数学使他们得到了一系列的新的管理方法。例如，计划协调技术是首先在美国出现的。它为任何一项大的工程的管理调度提供了一种科学方法：将整个工程划分为作业，定量地确定为完成每项作[182]业所需要的时间、人力、资源和资本，寻求短线和长线，借以确定调度和投资重

点，以便以最少的代价、最高的利润和最短的时间完成某项确定的工程。数学中的线性规划和动态规划被用到资源利用、交通运输、商业投资等方面，以便最大地提高效率和取得利润。这些在资本主义社会中广泛采用的管理方法中的科学成分，同样能为社会主义的管理所借鉴。虽然不同的社会制度所追求的社会目标不同，但无论如何社会管理已逐步成为一门定量的科学。

人口学历来被认为属于社会科学的范畴，直到现在人们还常常把它放在社会学中加以研究。对人口状态和数量发展规律的研究早在 200 年前即已开始。早在 1662 年英国人格劳恩特（JohnGraunt）就曾统计过伦敦市的人口出生率、死亡率和新生婴儿的性别比例。以残酷无情的反人道主义而著名的英国牧师马尔萨斯曾经猜测过人口发展的定量规律。本世纪以来，定量人口学已成为人口学的中心。人口学家用严格的数学方法解决了社会人口状态的定量分析，发现了描述人口发展过程的发展方程式（差分方程或偏微分方程），解决了人口发展的预报和控制等重大课题，建立了人口发展的稳定性理论。

人口学今天正在成为一门定量科学，为社会近期和远期经济分析和预报提供了坚实的理论基础。

军事运筹学是又一个侧面。在现代战争中，无论战略问题还是战术问题都离不开定量分析，不管战争的统帅者能否自觉地意识到这一点。作战双方力量的对比，兵力的部署，装备的多寡，后勤支持能力，经济实力等都要有量的统计。在现代战争策略制订方面，博弈论、决策论、概率论等数量科学都是须臾不能离开的基础理论。

在上述学科的带动下，定量方法即数学方法已渗透到社会科学的大部分领域中。最近又出现了计量心理学，计量历史学等等。越来越多的社会科学家转向用定量的方法去研究自己的问题，大批自然科学家把他们熟悉的科学方法应用到社会科学古老的命题，几乎在每一个领域中总能得到意想不到的新发现。但应该承认，在社会科学的某些最重要的方面至今还收效甚微，如在历史、哲学和政治学方面，我们还不大会用数学方法去定量地描述很多社会现象和社会科学中的一系列根本概念。

或许人类现在所掌握的数学工具还不够用，还需要创造新的数学体系，建立新的数学概念；或许并非所有的社会科学概念和社会现象都能够用数学方法去定量地描述。但是，从总体来说，社会科学正在从描述科学向精密科学过渡这是毫无疑问的，因为定量描述比定性描述能更精确、更深刻地反映客观社会的状态和发展规律。[183]

三、科学先驱们的向往

如果说制造工具和劳动使人类从动物界中分离出来，抽象思维能力的产生使人类走出野蛮状态而进入文明时期，那么对数量的抽象能力则为人类进入科学时代奠定了基础。大约 300 年前莱布尼茨和牛顿创立的微积分为现代科学和现代技术开辟了道路。恩格斯曾热烈赞扬道："在一切理论成就中，未必再有什么像 17 世纪下半叶微积分的发明那样被看作人类精神的最高胜利了。如果在某个地方我们看到人类精神的纯粹和唯一的功绩，那就正是在这里，……自然界对这一切想象的数量关系都提供了原型"[6]。在恩格斯之后的 100 多年里，数学科学又被大大地推进了，为人类认识自然和改造自然又提供了更多的武器。它始终保持着人类精神文明"最高胜利"这个持续不衰的荣誉。它所达到的高度的抽象和概括能力，严谨的逻辑方法，精致的辩证艺术，以及它的体系结构的动人的美使人们倾服。它驰骋于天文学、力学、航空和航天科学、电磁学、原子能等几乎一切现代科学技术领域中而所向披靡。它在描述纷纭万千的自然现象时的准确性，在发现靠直觉不能悟察其本质的发展规律时所显示出来的洞察能力使人们心旷神怡。爱因斯坦曾生动地表达过他的深刻信念："我们能否果真找到一条认识世界的正确道路？我可以毫不犹豫地回答说，确实有这样一条正确的道路，而且我们有能力去找到它。迄今为止，我们的经验已经证实了我们有理由相信，自然是可以想象得到的最简单的数学概念的具体表现。我坚信，我们能够通过纯粹的数学推论的方法来发现概念和那些把它们结合在一起的规律，它们是我们理解自然的关键。"[7]我不以为这段话叙述得完全成功。例如，用"自然是可以用想象得到的数学概念去描述"来代替"自然是可以想象得到的最简单的数学概念的具体表现"这种颇具唯心论色彩的话，可能更正确些。尽管如此，爱因斯坦所表达的信念是令人鼓舞的。

在社会科学领域中，由于种种原因，至少部分是由于历史偏见，应用定量研究的方法开始得很晚，真正取得切实成就还是本世纪的事。但是，用数学方法去研究社会现象一直是历史上先进思想家们所向往的目标。回顾一下历史上社会科学家们如何看待这一问题，我以为是很有意义的。首先让我们读一读被列宁称之为"落后于恩格斯，但是完全站在恩格斯相同水平上"的一位 19 世纪俄国唯物主义思想家车尔尼雪夫斯基于 1860 年对社会科学当时处境的生动描写。他在《哲学中的人本主义原理》一书中写道："现在，当某些科学已经从可怜的境况中挣扎出来，并达到品德的完美、学识的富有和智力的显贵时，在知识领域内也发生着同样的情况。数学和自然科学就是这种帮助自己可怜亲戚的富人。数学在很久以前就处于很优越的地位，但是由于它关怀了一个很接近的亲属——天文学，所以[184]占去了它很多时间。这种关怀继续了大约有 4000 年之久，甚至还可能更长一些。

最近，到了哥白尼时代，天文学才被数学扶持起来，它在智力界中获得了光辉的地位。好容易数学不再日以继夜地为自己的姐妹——天文学——的贫困境遇悲戚，好容易由于天文学的命运有了安排而有些空闲时间来考察其他的亲戚，就又帮助至今仍在物理学的名义下共同占有家产的那些家庭的不同成员来。……数学由于忙于帮助自己的近亲，所以也学会了帮助其他的亲属。在数学，亦即在计量计算技术的管理之下，精密科学的联盟也在逐年扩充新的知识领域，增加新的外来人……现在加入这一联盟的还有人文科学。现今的人文科学，就像我们看到的那些爱好虚荣但处于贫困卑微之中的人们一样。这些人的一门远亲（数学）不像他们那样有高贵的出身和空前的美德足以自豪。他只是一个普通和诚恳的人，但却很富有。自命不凡的贵族长期以来极力装作瞧不起他，然而贫困又迫使他们去指靠他的施舍”[8]。这段话的作者本人是一位社会科学家。从这里可以看到他对数学方法用之于社会科学的重要性及其对这种方法的巨大的潜在能力的向往、爱慕和追求。他清楚地意识到社会科学只有用精密科学的定量方法武装起来才能获得新的成就、新的品德和新的生命。

在车尔尼雪夫斯基抒发这些议论的时候，马克思正在撰写他的巨著《资本论》。他用定量分析的方法研究了政治经济学中的中心命题：社会资本的产生、现状和发展，这就是关于不变资本、可变资本和剩余价值的定量关系的发展，简称为（C，V，M）理论。[9]像达尔文发现了有机界的发展规律一样，马克思发现了人类历史的发展规律，使历来为繁杂的意识形态所掩盖的经济学中，特别是资本主义经济学中的基本规律豁然开朗，数学方法在这里起了重要作用。马克思对当时还不十分发达的自然科学用定量方法所取得的成就寄予巨大的期望。他设想到：“自然科学往后将会把人类的科学总括在自己下面，正如同关于人类的科学把自然科学总括在自己下面一样，它将成为一门科学。我们称这种自然科学与社会科学‘成为一门科学’的过程为自然科学与社会科学的一体化”[10]。后来，恩格斯又把这一思想概括为：“我们主观的思维和客观的世界服从同样的规律，因而两者在自己的结果中不能互相矛盾，而必须彼此一致，这个事实绝对统治着我们的理论思维。它是我们的理论思维的不自觉的和五条件的前提。”[11]

科学的历史正是像先驱们所预见到的那样向前发展着。各国自然科学家和社会科学家都自觉或不自觉地向着一体化的方向前进。20世纪的一位在物理学中享有盛名的德国科学家普朗克更进一步认为：“科学是内在的整体，它被分解为单独的整体不是取决于事物的本质，而是取决于人类认识能力的局限性。实际上存在着从物理到化学，通过生物学和人类学到社会科学的连续的链条，这是一个任何一处都不能被打断的链条”。英国著名的哲学家罗素对数学方法的向往和追[185]

求远超过前人。他说：“数学把我们带进了一个绝对必然的境界，对于这个境界，不仅这个现实世界，而且每一个可能的世界都是必然要遵照的。数学发现了一个永久存在的寓所，在这里我们的理想完全得到满足，而我们最好的希望也不会受到阻碍。”一位美国社会学家贝尔最近在总结第二次世界大战以来社会科学方法论的发展趋势时讲到：“社会科学的理论已不再仅仅停留在概念的咬文嚼字上，而成了可以用经验和可验证的形式来表达的命题，社会科学正在变成像自然科学那样的科学。”

引述各国科学家们关于这个问题的讨论并不表示我们完全同意他们每一句话或每一个细节，而是说明用精确的定量的方法去研究各种社会现象和社会科学历来是思想家和科学家们所追求的目标和所向往的境界。

四、模型和仿真

一切大量存在的社会现象的特征和过程的发生和展开归根结底取决于社会物质生活资料的生产和分配方式，从这个意义上讲，一切社会过程都有它的物质基础，而物质的特征和发展过程不仅可以定性地描述，也能够定量地描述，这已经为近几十年来的科学实践所证明。

为了对某种所关心的社会问题作定量的研究，首先要从状态变量的抽象开始，即寻求一组（有穷个或无穷个）特征量，它们的取值大小和变化足以表达所研究的社会现象的主要状态及其演变。用状态变量既能描述宏观现象，也能描述微观现象，这取决于命题所概括的范围和状态变量的选定方式。其次，在状态变量选定以后，要根据客观事物的具体特点确定这些变量之间存在的相互制约的关系，即构造状态平衡方程式。状态变量的全体和状态方程一起被称为模型，即描述社会现象的数学模型。在自然科学中已经创立了一整套建立模型的科学方法，如系统辨识理论、参数估计理论和模式识别理论等等，这些理论和方法能使得数学模型以最大限度的精确程度去描述所要研究的对象的数量特征。当然，不应该把即使是一个正确的模型和客观现象的全体等同起来。模型是对客观现象和过程的量的主要特征的抽象描述。对同一个社会现象，当研究不同的侧面时，会得到完全不同的数学模型，这并不表明某一个模型的不正确。相反，一个正确的数学模型能够在所有研究的主题范围内更普遍、更集中和更深刻地描述客观事物的量的特征。通过建立模型而达到的抽象反映了人们对客观事物认识的深化，是认识论的一个飞跃。

在社会科学的研究工作中，数学模型的用途至少有三个方面。第一，能使我们对社会现象的认识精确化，避免那些模棱两可的文字的论述；第二，借助模型

可[186]

以对所研究的现象的发展趋势进行可靠的预测，以预报在最近的将来可能出现的问题和状态，使人们对未来的形势有所准备；第三，通过对平衡方程或发展方程的分析可以看到不同政策（政策变量和控制变量）对事物发展的影响，以便在各种可能的政策或社会措施之间进行合理选择，给制订政策提供科学依据。

用模型抽象法去研究社会科学中的某些命题的一个突出的优点是对社会现象的状态分析、未来预测和政策评价都可以在实验室内进行。因为模型是用数学语言写出的，所以可以用现代科学中的仿真技术来研究社会现象的进程和发展趋势。在现代计算机的帮助下，利用仿真技术能在实验室中以很短的时间观察社会实际生活中需要几十年甚至上百年才能展开的进程，在几小时或几分钟可以显示出某项政策付诸实施以后几十年对社会生活的影响。这在现代仿真技术出现以前是不可能做到的。然而，时间在这里还不是最重要的因素。更为重要的是，由于社会现象比自然现象更为复杂，要想进行足够逼真的模拟描述，需要定义的状态变量数目有成千上万个，对这些变量进行处理常常是人们所无力完成的。例如，要研究今后几十年内国民经济的发展趋势和某项政策的影响，要定义数百个变量，要处理数万个数据；在研究人口发展问题中有近 500 个变量和 50 000 个数据。如果没有计算机的帮助，这种仿真任务几乎是不可能完成的。

我们有理由相信，现代科学技术，特别是计算技术的发展会给社会科学的进步以巨大的推动力。几百年来科学先驱们的理想所以不能实现，缺乏计算能力或许是一个重要的历史原因。一旦计算技术被广泛使用以后，在社会科学的各个领域内定量研究便会蓬勃发展起来。这当然是一个异常艰巨的任务。为了实现这一目的，需要许多具有远见卓识的社会科学家和自然科学家携起手来，贡献他们的聪明才智。

五、迎接科学发展的新阶段

正当越来越多的科学工作者开始用定量方法研究当前我国社会主义建设中的重大社会问题并取得可喜成就的时候，我们不断听到一些非议。有些同志由于对定量方法不熟悉，因而怀疑这种“非传统”的方法能否为认识和改造社会提供新的东西，发现新的规律。这种疑虑可以逐步消除。真正值得忧虑的是有的同志采取一概排斥的态度，认为这是“机械论”，“从感情上觉得”这种方法及其所得到的结果是不足信的；有人甚至说：“应用数学方法和计算机技术研究社会问题是现代资产阶级学者的共同特征”。这种把定量研究方法视为异端的讨论曾使很多人感到愕然。

随意地给一种科学方法贴上阶级性的标签固然是不应该的，把数学方法和辩[187]证法对立起来则更是理论上的谬误。近代科学发展的历史和伟大成就都清楚地表明：数学描述能深刻地反映客观事物在空间和时间上所表现的特征，能精确地描述各种事物相互关系的发展过程。恩格斯在《自然辩证法》一书中曾经指出："数学是辩证的辅助工具和表现方式"。那种认为数学方法必然产生机械论的观点无论在理论上和在科学实践中都是错误的和有害的。计算机不过是一种工具，像纸和笔对于人类文化的作用一样。说"应用数学方法和计算机技术研究社会问题是现代资产阶级的共同特征"犹如说"用纸和笔写字是一切资产阶级学者的共同特征"一样的毫无意义。

由于用定量方法去研究社会现象必须有足够的统计数据作依据，这无疑能限制那种按照一般概念和"大致估计"去作武断推论的可能性，排斥那种在没有准确定义的情况下在经典著作的片言只语中驰骋无度的作风，防止滥用不准确的概念和词句去掩盖浅薄和发挥偏见以至于攻击科学的现象再度发生。在可能的范围内广泛应用数学方法去研究社会问题是人类科学思维能力的进步，是科学发展史上的一个新的阶段，是走向马克思所预言的自然科学和社会科学一体化的决定性的一步。我们不应该把过去的习惯都当成不能改变的美德，而应举起双手迎接这一新阶段的到来。

原载《中国社会科学》1982 年第 6 期。

参考文献

[1] 列宁：《黑格尔逻辑学一书摘要》，《列宁全集》第 38 卷，第 181 页。
[2] 恩格斯：鲁迅：《历史科学的教训》，原载《河南月刊））1908 年第五期，冯其利译成白话文，见《中国科技史料》1980 年第二期，第 49—50 页。
[3] 《人民日报》1982 年 4 月 12 日载新华社电讯稿。
[4] 《列宁全集》第 21 卷，第 221 页，人民出版社，1959 年版。
[5] 叶笃庄：《纪念达尔文逝世一百周年》，《人民日报》1982 年 4 月 19 日第 5 版。
[6] 恩格斯：《自然辩证法》第 244 页，人民出版社，1971 年版。
[7] 见杨振宁著：《基本粒子发现简史》第 65 页，上海科技出版社 1963 年版。
[8] 车尔尼雪夫斯基：《哲学中的人本主义原理》第 43 页。周新译，生活・读书・新知三联书店，1958 年版。
[9] 见于光远：《试论社会主义生产中的 C，V，M——读〈资本论〉的一个笔记》，人民出版社，1979 年版。
[10] 马克思：《经济学一哲学手稿》，第 91 至 92 页，人民出版社，1957 年版。
[11] 恩格斯：《自然辩证法》，第 243 页，人民出版社，1971 年版。[188]

对当前中国系统工程学会工作的两点建议

钱学森

3 月 3 日许国志同志给我写了一封信，要我在中国系统工程学会新春学术座谈会上就如何适应改革形势，做好系统工程学会的工作讲点意见。下面我就讲两点意见。

一是讲一讲建立社会主义的国家学和社会工程，发展社会科学技术问题。

大家知道，我们的第一个五年计划进展得非常顺利。工业年递增率达 18%，农业 4.5%。后来出了毛病，再也没有达到这么高的速度，而且还有一个理论：基数大了，年递增率一定要下降。经济学家们这样说，我也只好这样认识了。但是造诣很深的、很有见解的经济学家孙冶方同志打破了这个理论。如何打破的呢？他指出关键在政策。例如，如果不改进生产的科学技术基础，只搞外延发展，照样翻版，那就会因基数大而降低增长速度；如果采用新技术重视内涵发展，那就有可能保持高速增长。

我最近想，我们从前讲的社会主义的分配原则“各尽所能，按劳分配”，究竟怎样才能做到每一个人“各尽所能”？前一段在讨论这个问题的时候，有人觉得“各尽所能”不大容易做到。于是有人说，干脆就提“按劳分配”算了，不要说“各尽所能”了。恐怕这也不对。新党章还是写的“各尽所能、按劳分配”。可是，我现在有一个大胆的意见（也许是错的）：我认为，上面的两句话应该倒过来，变“各尽所能，按劳分配”为“按劳分配，各尽所能”。因为，不按劳分配就不能做到各尽所能，而各尽所能是我们社会的目的。我们有 10 亿人口，凡是能够工作的谁不想能够尽他之所能？但如何做到？现在社会上有一些待业青年，还有一些情绪不太好的人，有人怪他们懒，怪他们不文明礼貌。其实，我们不该完全怪他们，他们有些事不顺心啊！据说有一次，在公共汽车上，有一个老头子要下车，前面走的人下车慢一点，他就拿拐棍打人。当然乘客们批评他，“老头子怎么随便打人？”其中一个旁观的青年倒说了一句公道话，“现在许多人心头有气，我看这老头子也是。”依我看，这个气不是别的，就是有劲使不出来，不顺心。

3 月 4 日《人民日报》第五版有一篇林京耀的《马克思主义的认识论与中国社会主义现代化建设》的文章。文章指出，1955 年以前之所以搞得好，是因为那

时的[189]政策适合我们国家的情况。但后来我们臆想了一个中国农业发展的模式，实践证明不适合。党的十一届三中全会以后，在党中央领导下，群众根据中国实际情况创造了适合我国的农业发展的模式，所以发展非常快。

什么是科学？科学就是适合客观实际情况。想象的东西，脱离实际的东西都是不科学的。毛主席在《实践论》中有一段精辟的分析。他说：

“马克思主义者承认，在绝对的总的宇宙发展过程中，各个具体过程的发展都是相对的，因而在绝对真理的长河中，人们对于在各个一定发展阶段上的具体过程的认识只具有相对的真理性。无数相对的真理之总和，就是绝对的真理。客观过程的发展是充满着矛盾和斗争的发展，人的认识运动的发展也是充满着矛盾和斗争的发展。一切客观世界的辩证法的运动，都或先或后地能够反映到人的认识中来。社会实践中的发生、发展和消灭的过程是无穷的，人的认识的发生、发展和消灭的过程也是无穷的。根据于一定的思想、理论、计划、方案以从事于变革客观现实的实践，一次又一次地向前，人们对于客观现实的认识也就一次又一次地深化。客观现实世界的变化运动永远没有完结，人们在实践中对于真理的认识也就永远没有完结。马克思列宁主义并没有结束真理，而是在实践中不断地开辟认识真理的道路。”

重温这段话，我再一次得到深刻的启发。我们现在确实应该鼓励大家对一切不合理的，又妨碍调动群众社会主义积极性的体制大胆改革，要总结群众经验，客观地、实事求是地认识中国的实际，进而科学地制订适合中国的政策和体制结构。这是一项改造中国，建设中国的工程，一项系统工程——社会工程（或社会系统工程）。现在这门学问似乎还没有建立。要建立这一学问，还要建立相应的基础理论，我给它设想了一个名字，叫社会主义国家学。社会主义国家的功能大致为八个方面：第一是物质财富的生产；第二是精神财富的创造；第三是服务事业；第四是国家的行政管理；第五是社会主义法制；第六是国际交往；第七是国防；第八是环境管理。这八个方面的功能可能还没有讲全，还有其他方面，就这八个方面说，都需要建立各自的系统工程，综合起来就是我上面讲的社会工程。如果这些工程建立了，相应的理论基础——社会主义的国家学建立了，并且完善了，则我们就能科学地制订政策，决策也就更有科学依据了。现在大家认识到了，建设社会主义的现代化，或者说到2000年翻两番，要依靠科学技术的发展，即中央领导同志所讲的，一靠政策，二靠科学。最近我看到天津市的一个材料，说1元钱的科研投资，可以增加产值22元钱。其中国家可得税利6元，你看这不是把老本捞回了好几倍了吗？现在农民很重视科学种田，把科技人员叫“财神爷”，他们从切身利益中体会到了科学技术的威力，体会到这是一条生财之道。但我认为不

只是要重视自然科学技术，那只是一本十利或一本数十利而已，而搞好了社会科学技术，调动[190]全体人民的社会主义积极性，才是一本万利。这就与我刚才提出的社会系统工程或社会工程有密切关系了。这项工程如果搞好了，1 元钱可以变成 1 万元钱，消极的因素可以变成积极的因素。那么第一个五年计划的产值递增近百分之二十是可以再次实现的。

我在 1980 年 9 月的上海《文汇报》上写了一篇《从社会科学到社会技术》的文章，我在那里呼吁建立比自然科学技术还要重要的社会科学技术。今天我还要在这里再宣传一下，还要请今天在座的田夫书记帮忙，大力支持这方面的学会活动。我们一定要把系统工程运用到国家规模的管理，社会主义现代化的建设上。这件事搞好了，就可以为领导同志做一点参谋工作，出一些好主意，那将是办了一件大好事。可不可以办到呢？在我们国家完全可能。资本主义国家办不到，他们现在正闹“经济衰退”，这是因为资本主义国家是私有制，资本家自由竞争，勾心斗角，尔虞我诈，相互欺骗，怎么能运用国家管理的科学？

如果社会科学技术和社会工程的确运用好了，我想，我们的生产决不只是二十年翻两番，而是成倍成倍地增长。这是我说的第一点。

二是讲一下系统科学的问题。

在去年学会召开的迎春座谈会上，我就讲了要建立一门作为系统科学的基础科学的系统学。今天我再补充几点。我觉得系统学很重要，它是系统科学的基础。我们现在讨论问题往往要联系到非常复杂的系统，即我们所说的巨系统。巨系统内部是有层次的，一个层次一种运动形式，高一层次就有高一级的运动形式，因而各层次性能也不同。高一级层次常常会出现较低一级层次所没有的性质，再高一层又有新的性质。这种层次的出现是事物本身所规定的，不可避免的。举例说，气体的宏观性质，什么温度，什么熵，是微观的单个气体分子所具有的吗？当然不是。这一点非常重要，因为知道了下一阶层的事并不能立即知道上一阶层的事。这才是真正与还原论相对立的系统论，我们决不能只有还原论而不要系统论。当然也不能只有系统论，而不要还原的方法。但现在是要强调系统论的时候了。过去一些讲复杂系统的同志常常不注意这一点，原来在运筹学、控制论中好像也不大讲。社会学中有很复杂的系统——巨系统，自然界中也有很复杂的系统。比如，哈肯的协同学或协合学是从激光理论引出来的，里面讲的就是复杂系统。去年获得诺贝尔奖金的威尔逊，他写的临界态理论也是讲复杂系统。他提出了重整化群的理论方法，这个理论可以从非常复杂的系统模型里提炼出更高一级的运动。但这个提炼方法要用很细致，又比较巧妙的数学。威尔逊说，他的这个理论不仅仅用于临界态的研究，而且还可以开拓到力学中的湍流现象。现在我还要在建立系

统学的工作里再给大家加一个理论。就是“重整化群”理论，希望大家把这个理论吸收到系统学中去。去年在我们学会的迎春座谈会上我谈到奇异吸[191]引子理论，说有序的系统又可以出现无序。我是一年加一个理论，做点“催化工作”。但我的本意是请学会认真组织力量，开展好为社会主义现代化服务的工作，我们不仅要投身到社会主义建设的实际工作中去，发展社会工程和社会主义国家学，而且，与此同时要狠抓基础理论，基础科学的研究。系统学也不是系统工程的全部或直接理论基础，而是系统科学的基础科学，更基础的理论。在这里，我提出请大家考虑，学会是否可以在已有的理论委员会之外，再组织一个从事系统学研究的委员会，把这方面的工作真正开展起来（比如叫系统学委员会）。这方面的积极分子不少，有生物学的，有物理学的，也开过几次会，去年还开了一个奇异吸引子的会，但是，这些会还没有归结到系统学。这是不是该我们来抓？当然，这方面的理论比较高深，较高深的理论不是脱离实践的，而是为了指导我们的实践，但如果我们下决心认真抓了，掌握了，也就不怕了。有了理论，又有搞社会工程以及其他各种系统工程的雄心壮志，那么，我们就可以结合社会主义现代化建设的需要，对国家功能的许多方面提出建议。这样，我们的系统工程学会的工作成绩就更大了，这不是一件大好事吗？

我要说的就是以上两点。

本文是1983年3月8日在中国系统工程学会召开的新春学术座谈会上的发言。原载《系统工程理论与实践》1983年第3期。

保护环境的工程技术——环境系统工程

钱学森

我从系统工程的概念出发，在几年前建议称保护环境的工程技术为环境系统工程[1]，但一直没有专门讲讲这个问题。不久前，接到中国人与生物圈国家委员会的通知，说在北京自然博物馆展出与联合国教科文组织联合举办的人与生物圈（MAB）展览，于是抓了一个星期日早晨去看。展出的有教科文组织的大约 20 来块图版，上半块图（英）文并茂，下半块汉文翻译。那天有不少中学生在看，并且很用功，在记笔记。但我看联合国教科文组织有点老气横秋，像旧中国时外国传教士的口气，画面大都是讲第三世界在生态环境保护方面的失误，在教训人。而可笑的是：图版讲解中倒有些非马克思主义的错误。不知中学生们记没记进笔记中去！幸而同一展室中有我们自己准备的 4 块图版，内容十分全面正确，看了令人高兴。因此，看了展览回来就想写点关于环境系统工程的东西。

正在这时候，北京市环境保护局科技处的孙吉民同志来信约稿，说《环境保护》编辑部要宣传环境系统工程，所以，我就写了下面这些话。当然这些看法不一定对，说出来是为了请同志们批评指正。

一

首先，我认为所谓人与生物圈的概念是不够确切的，它不能把今天人活动的范围全部包括进去，倒是如同中国科学院地理研究所浦汉昕同志指出的，苏联科学家用的地球表层或地理壳更准确。地球表层包括上至大气对流层顶层（在极地上空约 8 公里，赤道上空约 17 公里，平均约 10 公里），下至岩石圈的上部（陆地上约深 5～6 公里，海洋下平均深 4 公里），这才是今天我们人在开发利用，并有很大影响的范围。因此，环境的涵义，现在应该是地球表层，而不是什么 MAB。

浦汉昕指出，地球表层所包括的非生物、生物和人可以看作是一个巨系统，而且是开放的、有序的巨系统，因而也是诺贝尔奖金获得者L．Prigogine所说的远离平衡态的耗散结构，是活的，不是死的，是在发展、演化的，不是静止不变的。为什么说它是开放的而不是封闭的呢？因为地球表层同它以外的地方有物质和能量[193]的交换：从输入到地球表层的方面来说，有太阳辐射，大到 1.73×10^{17}

瓦的功率；还有潮汐能 3.5×10^{13}瓦；地壳深处也向地球表层送热岩浆；地球表层也接受来自天上的各种粒子流，如宇宙线，以及电磁波；还有流星、陨石；等等。另一方面，地球表层也有输出，最大的一项就是同太阳辐射能大致相等的红外辐射，散发到宇宙空间；还有少量的质轻的气体分子散溢到上层大气，以至空间；在地壳板块边缘处，也会有岩层离开地球表层斜插入深处；现在人们还把人造卫星、飞船送入太空；等等。对地球表层来说，进来的东西不等于出去的东西，在地球表层内部变化了，所以地球表层是开放的。

为什么说地球表层又是有序的呢？第一因为它是在有规律地发展着，或说地球表层是在进化着，从形成地球时的无生命的地球表层到有生物的地球表层，再从有生物的地球表层到今天居住着有高度物质文明和文化的人类的地球表层，已有几亿年的历史了。这一点浦汉昕已经作了说明，我不再在此重复了。我想指出的是地球表层巨系统的有序性还表现在它的多层结构，而多层结构是有序巨系统的特征[2]。有什么层次？从保护环境的角度来说，最基层的一级结构是一个工厂、企业，一个生活区，一片林地，一块农业种植田，一片渔业水面等。对后面这几种结构，一个非常重要的概念就是生态群落的思想，对此我国生物学和农业工作者已经有很多研究并在实际运用中取得很成功的经验；最近西北林学院的张亮成同志作了总结。对于养鱼池塘的生态群落，广东顺德县杏坛公社逢简大队第七生产队员梁二妹的淡水养鱼丰产经验[3]是惊人的，她在 1982 年，亩水面年产鱼 1139 公斤！这都是学问。

地球表面层结构的再上一个层次就是一个地区的环境。地区的划分不能是按行政区域，不能是什么市、市管县，而应该根据实际情况，相互影响的关系，也就是相对独立性来定。例如长江三角洲是一个地区单位。我们国家大约有几十个这一级的结构。

更上一级层次就是国家层次，最后当然是世界层次。所以从基层单位算起，一共有四个地球表层的结构层次。在分层次中，我们以人的活动为主，自然条件为辅来划分，其原因就是因为人在今天是主宰地球表层的，是地球表层最活跃的因素。这也就说明我们认识地球表层的内在关系，它的运动变化规律是多么重要了；不认识会导致策略错误：办蠢事，以致使地球表层的演化不是向进化发展而是向退化发展。为了引起重视，我建议称这一门学问为地球表层学，是一门跨地理学、地质学、气象学、工农业生产技术、技术经济学和国土经济学的新学科。因为我们在研究一种巨系统，是有层次的有序结构，所以需要系统科学的基础科学——系统学的帮助[2]。我们要创立地球表层学，从而深刻认识巨系统的运动规律，并且找出使环境改善和进化的理论根据。[194]

二

现在也就清楚了：我们讲地球表层巨系统，提出要创立地球表层学的目的是因为地球表层的一切变化将影响我们的环境，为了搞好环境保护的工作，有必要深入研究它，以建立必要的理论基础。而且既然已经肯定地球表层是个巨系统，那么管理这个巨系统的技术也就肯定是一门系统工程，环境系统工程。所以地球表层学是环境系统工程的理论学科，而环境系统工程又是应用地球表层学来保护和改造我们的环境的工程技术。

既然保护和改造环境是一门系统工程，那么环境系统工程也还要依靠系统工程的一般方法理论学科，如运筹学，以及电子计算机技术和控制论等。环境系统工程也要运用国土经济学的成果。

下面我来讲讲有关环境系统工程的轮廓性的意见。

根据地球表层巨系统的概念，在环境系统工程中也要明确分级解决：第一级是有关地球表层巨系统的第一个层次的，即工、农业生产和人民生活的基层单元的；第二级是有关第二个层次的，即区域性的；第三级是有关第三个层次，即全国家的；第四级是有关第四个层次的，即全世界的。每一级的环境系统工程的工作任务都不尽相同，管理的方针也因此要有区别。

从国家行政角度来讲，第一级的环境系统工程主要是制订法令、规定，要求各基层单位严格遵守，不得污染环境。另外就是监视的取样测量工作。当然标准要适度，要逐步随技术的改进而提高要求。这就要求引用效益分析的科学方法，比较各种监测标准的经济效果，权衡利弊。另一方面，我们也要作宣传工作以提高人们对保护环境的重要性的认识。以前我们对此做得很不够，对利用废水、废气、废渣的意义总是从防治祸害来看，而不从积极意义来看，比如废物实际上是人造的资源，而且是送上门来的资源，不用去开矿，不用去远道运输，就在手头！我们还要指出所谓废弃物的利用，不但工业是如此，农业也应如此，也要努力发展。这一级的环境系统工程工作是基础，基础打好了，再上面几级的工作才能进行，比如酸雨问题[4]就是如此。充分利用废物，变废为利，应该是社会主义制度的优越性表现之一。经济学家许涤新同志对此已讲得很清楚了。

更上一级到第二级的环境系统工程是以一个地区为单位的。这里第一位的环境改造工作是植树造林，进行绿化，包括培养花草，现在国家十分重视这项工作，发出了绿化祖国的号召。我想有关的环境工作还有恢复露天开矿所破坏的地表，改造矿渣堆置的地面等，使他们重新成为生机勃勃的地方。这个问题在工业发展较早的国家已成为公害之一，美国每年增加这种人造荒原 500 平方公里，现[195]

累积已达 15 000 平方公里。我们从现在起就要注意，从一开始就避免这种破坏，随时恢复。更积极的环境系统工程工作是控制气象，如在我国东南部沿海地区，改变台风运动的方向，不叫它登陆，做到有台风降雨之利而无台风破坏之害。再进一步搞人工降雨也有可能，这原是 50 年代就开始了的气象技术，后来在资本主义国家又衰退下去，无人问津了，原因是降雨区控制不准，一家投资，雨下到别人那里了，不能得利。这个问题在我们社会主义国家是可以解决的。

再上一级的环境系统工程是全国性的、跨地区的了。我国现在正在营造北部林带以防止沙漠化，就是这类措施。今年开工的东线南水北调工程也是这类措施。随着社会主义建设的进程，这一级的环境系统工程措施会因国家力量的增长而多起来。但国家一级环境系统工程还要考虑另外一个方面的问题，这些问题解决得好，又能反馈到下面几个层次的环境保护和改造。例如，国家的能源政策，要解决烧煤带来的麻烦而改造燃料煤，要大力发展沼气解决农村能源和城市污水处理问题，要充分利用水力和风能等清洁能源等等，这都将为第一级、第二级的环境系统工程创造条件。其实建筑形式也对环境有影响，能够节能的建筑，冬季保温，夏季凉爽，也能有助于保护环境，减少污染。中国建筑学会副理事长、兰州市副市长任震英同志提倡黄土高原的窑洞是有道理的，国外不是在搞地下建筑吗？窑洞是几乎在地下的建筑，加上现代技术完全可以成为现代化的住房和工作用房。联系到环境保护，国家现在就要研究由核能利用后产生的核废料的处置问题，这是一个世界各国都没有很好解决的问题，核能要大发展，我们要赶快研究，提出全面的方案。

最后一级环境系统工程是关系到全世界的环境保护和改造；特别是今后长期的演化，是恶性的，还是良性的？大气中的二氧化碳浓度真的在不断增加吗？真有所谓温室效应而气温上升吗？但全球环境系统工程是一项国际协作的工程，联合国教科文组织的人与生物圈委员会是不大能有什么作为的，因为解决国际事务问题远比说教要困难得多。

前面讲的四级环境系统工程又是一个整体，因为环境就是地球表层这一统一的巨系统，是互相关联的。这是环境系统工程的一个特点。当然我在这里讲的也不一定都全了，会有遗漏，例如非常重要的天气预报、地震预报就没有列入环境系统工程，而气象与地震都是影响环境的重要因素。

三

我在以上的文字里，讲了我所认识的整个环境问题，它的理论科学——地球表层学，和它的工程技术——环境系统工程。可见它是多么复杂庞大的问题，现

[196]在国务院有了城乡建设环境保护部，是大好事。但现在仅仅是个开始，为了我们的子孙后代，为了社会主义、共产主义的明天，我们要做的工作还多着哩！我们要认真研究这个问题，建立必要的研究机构。此外，既然是个新的事业，是开创性的工作，我们就要认真考虑培养工作人员的问题。听说有的研究单位已经开始在招研究生，造就专业工作者，这是应该的。

看来所有这一切都必须有个通盘规划，目光要放远些，要看到 21 世纪！

原载《环境保护》1983 年第 6 期。

参考文献

[1] 钱学森：《哲学研究》，1979 年第 1 期，20 页。收入钱学森等著《论系统工程》，湖南科学技术出版社，1982 年，205 页。

[2] 钱学森：《系统工程理论与实践》1983 年第 4 期。

[3]《关于建立和发展马克思主义的科学学的问题》，《科研管理》，创刊号。

[4] 《经济参考》1983 年 3 月 17 日，第 1 版。

[5] 《环境管理通讯》1983 年第 1 期，3 页。[197]

关于系统工程与经济管理体制

钱学森

从认识论的观点看，系统工程是当代人类在认识和改造客观世界中的一个“飞跃”。这种现代科学技术的定量方法，不但可以用于自然科学，而且可以用于经济事务的组织管理。马克思主义的认识论告诉我们，人类发展的历史就是不断认识世界和改造世界的历史。人们在实践中对于客观现实的认识是永远不会完结的，但有阶段性，表现为认识的能动的飞跃。1962 年有个美国人叫库恩的，在《科学革命的结构》一书中，把人们对客观世界认识的飞跃称为“科学革命”。按照这种说法，自然科学方面可称为科学革命的有：日心说的提出；牛顿力学的创立；还有在上世纪的、被恩格斯称为三大发现的生物细胞、能量转化和进化论；本世纪的爱因斯坦的相对论，还有量子力学和巴甫洛夫的条件反射学说。社会科学方面可称为科学革命的有马克思的两大发现：历史唯物主义和剩余价值理论。人类认识客观世界，就是这样一个飞跃接一个飞跃，一个科学革命接一个科学革命。

人们在改造客观世界方面也是一个飞跃接一个飞跃的。这方面的飞跃，就是毛泽东同志提出的“技术革命”，他举的例子是：18 世纪的蒸汽机，19 世纪的电力和本世纪的核能。最近几十年来，技术革命出现的周期越来越短，并且成群出现，人们称之为“第三次浪潮”或“第四次工业革命”。这包括：电子计算机技术、航天技术、遗传工程、激光技术、海洋开发技术等。系统工程也属于当代的一个技术革命，下面就专讲这个问题。

随着科学技术的发展，科学技术的组织管理工作的复杂程度大大提高了。现在一项大的工程，比如战略导弹核武器，就是一个大系统，下面还有分系统；每个分系统下面，还有众多的仪器、组件、部件和元件。所以，过去一项工程只要在总工程师下面有几个人就可以组织管理好，而现在一项大的工程，则要在总工程师下面设一个总体设计部，要有几百人，并要利用电子计算机才能组织管理好。航天工业部就是这样办的。这一套工作组织程序和方法，就是系统工程。系统工程，是根据控制论原理，运用电子计算机技术，把系统复杂的工程的组织管理工作建立在定量的基础上，使得各个分系统、分系统中的每个仪器、组件、元件的工作，协调一致、同步运转，大大提高效率。所以，系统工程也就是办事的科学，是使组[198]织管理工作科学化、定量化，而不是过去的大约数、估计数的那套工

作方法。

现在，系统工程应用范围越来越广。信息科学、生命科学、机器人、自动化工作等等，都要靠它。可以预见，它在经济管理中也将大有用武之地，经济管理中的复杂的困难的问题都可用它来解决。

从自然科学的方法发展起来的系统工程可以用于经济管理。那么，自然科学中有些什么经验教训值得我们在研究经济管理中借鉴呢？我们从下面这样一个故事得到启示：

19 世纪初法国人拉普拉斯（Laplace），在牛顿力学的基础上写了《天体力学》一书。拿破仑在接见他时间：“教授先生，怎么你的书里没有提到上帝？”他对拿破仑说，他不需要上帝。因为有了牛顿三大定律，天体运动的一切奥秘，都可以一览无遗地掌握了，甚至世界的历史都可以掌握，因为物质都是由分子组成的，而对于每个分子的运动，依靠牛顿定律，都是可以计算和掌握的。但这毕竟是一种空想，因为世界上那么多的各种各样的分子，何止亿亿万万，要想一个一个地知道它们的运动情况，实际上是不可能。所以到 19 世纪末，在奥地利出现了“统计力学”，纠正了拉普拉斯的错误。统计力学指出，人们对于物质运动的认识，只要掌握组成的分子运动的平均统计数值就可以了，要求对每个分子运动一览无遗地掌握是不可能的，也是不必要的。

这里提出了这样一个问题，就是宏观与微观的联系与区别的问题，宏观与微观是两个不同的层次，想从宏观一竿子插到微观是不可取的。从经济管理来说，宏观经济和微观经济也是不同的层次，要求从宏观经济一直掌握到微观经济，即对每个生产单位的生产活动都要一览无遗地掌握起来，那是不可能的，也是不必要的。我国计划管理体制是 50 年代学的苏联模式，这种模式把社会看成一个超大型的工厂，要求经济计划包揽一切。这是一种空想。这可以说是在一个世纪之后，又重复了拉普拉斯的错误，脱离了实际，所以效果并不好。科学技术发展到今天，需要改革这种模式。目前，苏联也承认老的一套不行，东欧各国原来是学它的，现在也都在改。要改革，就要从认识上有一个突破，就是把宏观和微观区别开来，明确我们要有计划、按比例地发展，目的在于控制宏观经济，而控制宏观，不需要由国家去直接控制每个企业的活动。

我国经济管理体制要解决的中心问题，是如何调动广大人民的社会主义积极性。我感到，现在不少人心里有气。为什么有气呢？就是有劲没处使，有劲使不出来。经济管理体制必须解决这个问题。办法也是有的。现在，在农村，这个问题就解决得好：实行联产承包责任制、按劳分配。其他方面可以作为借鉴。原则是：宏观控，微观放。微观放，就是放开不必要的行政干预，把每个企业和劳动

者的积极性都调动起来。[199]

微观放了，宏观是可以控制的。要做到这一点，国家要直接掌握和管理经济命脉，如铁路、民航、长途运输（包括远洋航运）、邮政电讯、能源，电力、外贸和国际交往等。大型骨干企业可组成大公司，由国家直接下达指令性任务，实行责任制。这样国家直接下达任务的经济单位可能只有一、二百个。而大量的小型企业，国家不必直接去管，因为它们都不同程度地与大企业有联系，国家管了大企业，众多的小企业也就被管住了。此外，国家在宏观管理上，还要运用经济调节手段、法律手段和必要的行政手段。

运用经济调节手段，靠拍脑袋是不行的，需要利用系统工程。经济调节手段包括价格、税率、利率、工资的调整等等。每种经济杠杆的使用都会有连锁反应，各种经济杠杆之间又互相影响、互相制约、不能孤立地使用。为了恰当地使用这些经济杠杆，使之为计划目标服务，需要作复杂的计算验证。这就需要通过电子计算机的输入输出，即“系统辨识”来测算这种连锁反应和互相影响。我们现在已经有了千万次的，一亿次的计算机，还将有几十亿次的计算机，不管多么复杂的经济问题，都可以通过计算，找出它们之间的数量关系，回答经济工作中提出的各种问题。当然，这就需要各种必要的精确的统计数字和灵通的经济信息。而在这些方面，我们现在还很薄弱，需要下决心加强。

为了把系统工程用于国民经济的管理，我国需要建立国民经济和社会发展的总体设计部。现在各方面提出的发展战略很多，有这个战略、那个战略，各说各的，但没有一个综合性的总体发展战略。因此，需要成立总体设计部，作为一个国务院的实体，而不是专家座谈会。这个实体要吸收多方面的专家参加，把自然科学家、工程师和社会科学家结合起来，收集资料，调查研究，进行测算，反复论证，使各种单项的发展战略协调起来，提出总体设计方案，供领导决策。有人认为，社会科学的研究成果，就是写出文章。这是不对的。作为国民经济和社会发展的总体设计，应当像工程设计那样，要有设计蓝图，并由总设计师在上面签字，以示负责。就像我们航天工程那样，如果根据设计制造、发射的卫星，出了故障，不但批准这项工程的领导人要负责，总设计师也要负责。总之，国民经济和社会发展总体设计部是党中央、国务院决策的参谋机构，在实施我国计划体制改革中，千万不要少了这一着棋。

本文是1983年11月16日应国家经济体制改革委员会的邀请，所作的关于系统工程与经济管理体制报告的摘要。原载《计划体制改革问题简报》1983年第7期。[200]

聂荣臻同志开创了中国大规模科学技术研制工作的现代化组织管理

钱学森

50 年代中期，在我国当时十分困难的条件下，党中央、毛泽东主席决定研制并生产中华人民共和国自己的导弹核武器，并且批准了“自力更生为主，力争外援为辅，充分利用资本主义国家的科学技术成果”的方针。周恩来总理负责这项工作全局性的领导和组织，而具体的组织领导者就是聂荣臻同志。中央军委副主席聂荣臻同志那时也是国务院副总理，国家科学技术委员会主任，国防科学技术委员会主任，统筹兼顾，全面调度，充分发挥了科学技术人员的聪明才干，研制工作取得了迅速的进展。1964 年 10 月 16 日第一颗原子弹爆炸成功，1966 年 10 月 27 日在我国国土内发射并爆炸了一枚导弹核武器，1967 年 6 月 17 日我国第一颗氢弹爆炸成功。我们的科学技术人员在今天回顾往事，都十分怀念那个时代，称之为中国科学技术的“黄金时代”，也十分尊敬和爱戴我们的领导人——聂老总。

聂荣臻同志赢得中国广大科学技术人员的敬爱，因为他模范地贯彻执行了党的知识分子政策，不受错误路线的干扰，在林彪、“四人帮”反革命分子猖狂破坏时，挺身而出，保护科技人员，这都表现一个革命的共产党人的崇高品德和领导水平。对这些，因为有这本书中的其他文章，我在这篇文章中就不多谈了；我在这里想专门讲讲在聂荣臻同志领导下，开创了中国大规模科学技术研制工作的现代化组织管理体制和其深远意义。

一

先讲讲在我国搞大规模科学技术研制工作的指导方针。

什么叫大规模的科学技术研制工作？首先，什么叫研制？研制是研究、设计、试制的缩写，包括科学研究，但目的是出产品，能到达一定预先制订的目的和性能的产品。所以，研制不同于基础科学研究，如果说基础科学研究是为了认识客观世界，那么研制就是直接改造客观世界了。形象地说，基础科学研究是“文的”，研制是“武的”。那么，什么是大规模科学技术研制呢？规模为什么大？因为最终要[201]取得的产品非常复杂，包罗了许多组成部分，而每一个组成部分又由许许

多多仪器、组件构成，一个仪器、组件又由许多单元、元件所构成，其中有很多项目需经多次研究试验才能成功。所以，工作量之大，规模之大，就可以想见。

为什么要干这样费力的大规模科学技术研制工作呢？原因就是产品的有或没有，关系到国家大事。就以导弹核武器而论，它在今天的世界上，有它或没有它是关系到一个国家的国际地位，关系到国家安危的大事。但我们有的同志却认为搞导弹核武器、搞国防尖端技术规模大，花钱多，是好大喜功，是“极左路线”。试问：如果我们今天还没有导弹核武器，我们国家的国际地位将如何？你们还能不能安心搞正常的工作？恐怕大成问题吧。所以大规模的科学技术研制工作不能不搞。当然，我们国力有限，也不能什么都搞。而要有选择地搞，只搞那些在我国现阶段发展所必需的。

因为研制规模大，花钱多，所以就尤其要讲经济效益，尽可能节约。决不能只要能出成果，费用在所不计。又如一项技术，是我们工作所必需的，又有从先进国家引进的可能，费用还比我们自己搞省，那我们当然应该引进。这就是党的十一届三中全会以来制订的正确对外开放政策，闭关自守是愚蠢的。我们一定要通过一切可能的途径吸取对我有用的国外技术。但正如前面阐述的，大规模科学技术研制工作往往涉及一国的政治经济要害，触及国际间极为复杂而激烈的政治斗争，即使我们想引进，也可能是一厢情愿，是空想。聂荣臻同志今年对我们的人民代表讲[1]：“所以，一切都要靠自力更生。这不只是讲尖端，稍微进步一点的东西都靠进口，花钱到外国去买，那是不可能的，妄想！”聂总还讲：“许多教训使我们深刻认识到：只能靠自力更生，只有自力更生才靠得住。不要光着眼于去买外国的先进技术；他要赚钱，公开的，流行的，一般的，他还可以给你，但凡是比较先进的都不会给你，去参观也很少看得到。所以说靠人家靠不住、靠自己才靠得住。”

这是聂荣臻同志在今天新的历史条件下，对我国科学技术发展，特别是对我国大规模科学技术研制工作，基本方针的明确阐述。这个方针完全符合我们国家和世界的实际情况，并且是实践证明了的。我想这也是工业系统中科研生产的普遍规律。过去我们没有导弹核武器，中国的科学技术人员，在全国各方面的大力支援下，不是以远比国外快的进度搞出来了吗？党和人民信任和相信我们科技人员，我们中国的科技人员、中国的知识分子不辜负党和人民的信托。中国的科学技术工作者，中国的知识分子能攻关！

二

我们也常常说新产品是队改进老产品来的。一件产品在实际使用中发现了

[202]它的不足之处，我们可以使用掌握了的科学技术进行设计上和制造上的改进，从而生产出性能更好的产品。但这是说小改进，变动不大的改进。如果要有比较大的改进，设计和制造方法要有较大的变动，问题就不这样简单，可能要先试试看：先试制出新设计的产品的样品或样机，然后要经过严格的试运转和鉴定。例如不久前，长春第一汽车厂的新解放牌卡车就是这么办的。鉴定后，认为产品符合要求，合格了，再正式把新产品定型，才能投入生产。这就分成新产品的试制定型 （或鉴定）和定型（或鉴定）后投人生产这样两个阶段，不是小改进的一个阶段。

但对现代大规模的科学技术研制工作来讲，例如研制一个新型号的导弹核武器，因为技术发展的步伐要加快，新型号还必须引用老产品所完全没有用过的某些新技术，什么样的仪器，一方面从科学理论上讲，相信新技术是可以实现的；但另一方面我们对如何实现这项新技术，制造出什么样的部件，能最后达到什么样的性能却心中无数。这样，就不能冒冒失失地开始新型号的正式设计工作，那样会欲速反而不达。我们应该对这些新技术进行科学研究——应用科学研究或科学发展性研究，经过试验，从失败到成功，最后搞出性能满意的部件或仪器的试样。这一阶段的工作称为预先研究，比正式全型号或全产品设计要先行的研究工作，是为正式研制打基础的科技研究工作。当然，预先研究不是漫无目的的，而是为了某一具体新型号、新产品而作的。有了它，型号的设计才有把握，尽管新设计比老产品的性能有很大的提高，引用了前所未知的新技术。

所以在现代大规模科学技术研制工作中，全过程分三个大阶段：第一阶段，预先研究；第二阶段，型号研制，包括设计、试制、试验和定型（或鉴定）；第三阶段，正式生产。每一个阶段还可以再细分为几个小阶段，所以国外还有分成更多阶段的说法。但三个阶段的分法比较合乎我们国家的实际。

聂荣臻同志总结了我们自己多年的实践经验，肯定了三个阶段的分法，提出大规模科学技术研制工作的“三步棋”：预先研究，研制和定型（或鉴定），定型（或鉴定）后生产。聂总还从工作的连续性出发，提出对每一类型号都要同时有一个型号在生产阶段，又有一个在研制阶段，还有一个在预先研究阶段，这也是，“三步棋”。这些都是聂荣臻同志领导我们发现的，符合我国实际的大规模科学技术研制工作的客观规律。运用它，就可以高速地向前发展尖端技术产品。

三

现代化大规模科学技术研制工作该如何组织管理呢？这当然是要符合科学技术工作的客观规律，也要结合中国的具体实际。但这又从何说起？

前面已经阐明了现代化大规模科学技术研制工作的复杂性：多层次、多部件、[203]多组件的并进和三个大阶段的计划。头绪多，结构紧密，容不得任何差错。技术组织管理空间繁重。在这种情况下，多少年习惯的总工程师、或总设计师制应付不了了：一位总工程师，即使再加上几位各有分工的副总工程师，就是他们有水平，有充沛的精力也应付不了全部技术组织管理和多方面的技术组织和协调工作。于是要有一个一百人、几百人规模的总体设计部；一类产品一个总体设计部。总体设计部是一个实体，制订一个型号的设计，出设计图纸，设计文书，定进度，定对各分系统的性能和可靠性要求，拟定试验计划，制订定型（或鉴定）文书，最后出定型（或鉴定）文件及生产图纸。在整个研制过程中，总体设计部还要不断地协调各部门的技术数据、性能参数等，使得型号的各分系统能汇总成一个整体，达到原设计的总性能和可靠性要求。总体设计部是型号总设计师和副总设计师的参谋机构。总设计师和副总设计师是型号的技术指挥员。这个集体以及下面各个组织部分的技术分责人就是型号研制工作的技术指挥系统或技术指挥线。

型号或产品的技术指挥系统是主管一个个型号、产品的，但具体的研制工作又分散在专业的技术单位和车间、工厂。每一个技术单位，每一个车间、工厂同时要承担不同型号、不同产品的工作。如何协调？这是生产的管理和调度要解决的问题。为了做好这项工作，要有各级的调度指挥部门和负责每一个型号的调度指挥员。

两个各有专职的系统，技术指挥系统和调度指挥系统，每个型号两组指挥员，总设计师和副总设计师是技术指挥员，还有调度指挥员。两个系统、两组指挥员都向部门的领导负责，在部门领导的领导下亲密协作编好一个型号、一个产品的研制工作。这就是我国通过国防尖端技术，导弹核武器和人造地球卫星研制工作逐步形成的大规模科学技术研制工作的现代化组织管理体制。

这个体制的形成，每一步都是在聂荣臻同志领导下完成的。早在 1961 年，中央批转了《关于自然科学工作中若干政策问题的请示报告》和《关于自然科学研究机构当前工作的十四条意见（草案）》（即“科研十四条”），聂总就专门就两个文件在原国防部第五研究院干部大会上作报告，动员大家贯彻执行。接着在 1962 年 11 月又指示原五院领导在“科研十四条”的基础上制订了《第五研究院暂行条例》。按这个条例的规定，研制工作的两条指挥线的体制已基本形成。在“十年内乱”中这个体制遭到严重破坏。但在粉碎“四人帮”以后，特别是在党的十一届三中全会精神的指引下，这个大规模科学技术研制工作的体制已经得到恢复和完善。现在张爱萍同志多次强调要把这种三个阶段，两条指挥线的工作制度在整

个国防科学技术工业部门推广实行。聂荣臻同志开创的中国大规模科学技术研究工作的现代化组织管理制度已在祖国大地上扎根开花结果了。[204]

四

为了做好技术指挥系统和调度指挥系统的工作都可以引用系统工程的技术；为了前者，用工程系统工程，为了后者，用企业系统工程[2]。这样就可以用上电子计算机，在把工作做得更细、更准的同时，又节省人力和时间。现在这也已开始在我国实现了。

既然是大规模科学技术研究工作的现代化组织管理体制，当然不能说它是局限于国家科学技术工作的。周恩来同志在生前一次听取我们汇报工作时就说过，这套工作体制要推广到所有包括民用工业在内的大规模科学技术研制工作中去，并说将来建设长江三峡水利枢纽就可以用。这就是说，这种工作体系可以为所有社会主义建设中的大型工程服务，提高工作效率。

作为由于大规模科学技术研制工作的现代化组织管理所发展起来的系统工程方法，它的应用范围就更广泛了。它可以用到大规模的科学实验[3、4]，它可以用到国民经济和社会发展的计划、规划[5、6]，它还可以用到国家的整个事务中去[7]。所以，当我们看到这些前景的时候，也就体会到聂荣臻同志开创的中国大规模科学技术研制工作的现代化组织管理，的确是一件具有深远意义的大事。我们一定要深刻认识，并进一步发展完善它，以继承和发展老一辈无产阶级革命家创立的伟大事业，全面开创社会主义现代化建设的新局面。

原载《聂荣臻同志和科技工作》，《光明日报》出版社，1984 年。

参考文献

[1] 聂荣臻同志 1983 年 6 月 18 日接见国防科工委出席六届人大一次会议代表的谈话。
[2] 钱学森等：《论系统工程》。湖南科学技术出版社，1982 年，180 页。
[3] 钱学森：《大规模的科学实验工作》。《人民日报》1964 年 8 月 30 日，第六版。
[4] 钱学森等：《论系统工程 1 湖南科学技术出版社，1982 年，99 页。
[5] 同上，137 页。
[6] 戴诗正：《试论建立国民经济总体部的可行性》，《系统工程理论与实践》1982 年 1 期，1 页。
[7] 钱学森：《研究和创立社会主义建设的科学》，中共中央党校，1982 年 11 月 2 日。
[205]

社会主义法制和法治与现代科学技术

钱学森　吴世宜

社会主义制度是从古到今最先进、最完善的社会制度。但人类还要前进，还要走到共产主义社会。就是在我们国家，旧社会遗留下来的落后思想意识和外来的腐朽思想意识都有影响，因此，为了绝大多数人民的利益，为了使每一个能够按照全体人民的利益去行动，一要靠思想教育，二要靠管。管，就必须有社会主义法制。这无疑是社会主义建设中的大事．我们将在这里谈谈如何充分运用现代科学技术的新成就，特别是新的技术革命来促进我国的法制建设和法治工作。

有必要首先把这两个概念作出说明．对“法制”的概念，我国法学界还未完全统一认识，有的把“法治”即法制的实施过程和功能要求，如有法可依、有法必依、执法必严、违法必究等也包括在内。这里我们采用董必武同志的定义：“国家的法律和制度，就是法制”[1]。这与列宁所说：“法制”就是“全部法律及其制度”[2]是完全一致的。法制和法治是两个密切联系不可机械割开而又互有区别的概念．前者着重在“制”，即“制度”，是名词；后者着重在“治”，即“治理”，是动词。同时还必须交代的是：所谓“社会主义的法制”主要是指反映我国社会特有发展规律需要、具有我国特色的社会主义法制；“法治科学体系”，即现代化的马克思主义法学体系。

我们要探讨的领域是比较新颖的。新，就是不成熟，所以我们在这里说的难免有错误，恳请读者同志们批评指正。

一、现代科学技术与社会主义法制和法治

首先要解决的问题是：社会主义法制和马克思主义法治科学的体系能不能引用现代科学技术的成果？有的同志认为法学是阶级性很强的社会科学，自然科学，工程技术、数学物理方法、电子计算机方法，是没有阶级性的，不能生吞活剥、生搬硬套，而且用电子计算机于法律审判和咨询会束缚无产阶级手脚，变成机器统治人，或者会引来司法机关和群众之间的矛盾对立。有的则说，所谓“法律工[206]程”、“法律控制”是资产阶级社会法学派早就提出了的破烂货，用于加强对劳动人民的剥削与罪恶统治，如此等等。这是由于对现代科学及其发展具有高度分化而又高度综合、自然科学与社会科学一体化等趋向，不理解或者理解不深而

引起的一些误会。同时，也与未能善于运用阶级分析与辩证分析相结合的方法论有关。资产阶级做不到的事，我们无产阶级和广大人民则有可能完全做到，如“人民民主”、“法律面前人人平等”等资产阶级用以欺骗人民的理论、原则，罪在欺骗，理论原则不一定全部都是坏的，要能批判区别，吸取其有用的部分。要坚持阶级分析，但必须以辩证分析为基础，不再犯“四人帮”时期乱贴“阶级性”标签的错误。一些共性的东西，是对全社会各阶级都有利的，不能说它单只维护某一阶级的特殊阶级利益。先进的科学管理本身是没有阶级性的。把电子计算机用于法学是否会产生机器统治人，束缚了无产阶级的手脚，这要看怎样用法。站在马克思主义的立场上，把它当做一种工具，为建设现代化的社会主义服务，不但不会束缚无产阶级的手脚，相反却会使无产阶级和广大人民的手脚伸得更长、更灵活，更敏捷、有效。人和社会的高级运动形式，是由物理、化学等低级运动形式发展而来的，它本身包括有这些低级运动形式。把自然科学的成果用于社会科学包括法学，是科学发展的自然过程，只要善于运用是可以避免“生吞活剥”、“生搬硬套”的问题的。

二、使用电子计算机和系统工程的方法

要利用现代科学技术来促进社会主义法治，我们必须结合我国的实际来考虑：一是法律与法学队伍的“底子薄”，人少质也不高，对现代科学技术的学习、理解和掌握很不够；二是我国人口多、关系复杂，要处理的问题多。以律师来说，10亿人口只有律师 14 000 多人（连兼职在内），比有 5 000 万人口的英国（律师 35 000 名）、6 000 万人口的联邦德国（律师 30 000 名）都少得多，由于律师奇缺，法律知识不够普及，人民群众欲学少路、欲问少门的情况严重存在。加以历史的种种原因，目前的司法人员有相当数量没有受过专门训练，有些县全县没有一个大学法科毕业的，在正常情况下（指非修改、变动法律时情况）也有判案畸重畸轻的事。这就产生了客观需要与主观力量的尖锐矛盾。据了解，有的省，法院系统一年内受理信访 41 万件、省高级人民法院受理信访 3 万件、省检察院每月受理 500～600 件；有些省的律师一年内共代书 20 300 件，县的情况也大体是这样，法律顾问处的律师每天每人要接待 6～8 人次。由于任务过重，司法机关不可能件件深入调查、及时处理，不少简单的纠纷和民事案件，由于拖时过长或处理不当，使矛盾激化与转化，发展为严重的刑事案件，影响社会治安，危及人身安全，造成国家、人民财产[207]的损失。这一矛盾的解决，如借助于电脑来武装我国法学与法治，就有可能事办功倍。这是其一。

其次，从立法要完善、周密、准确来说，要检查整个法律系统是否完善，要

是单纯用人工的办法，也许要成千成万或者上百万件的典型事例和案件，一件一件的对照检查。这个工作量大极了，而且太慢。如果用电子计算机不仅准确度高而且速度快。因为这完全是一个逻辑的处理。这个逻辑处理完全可以编成程序（即软件）输入电子计算机，计算机按程序高速度地来完成这项检查工作。

其三，从法治过程的综合治理来说，也可以采取系统科学与系统工程的理论和方法，对法治系统进行系统分析和综合，作出系统处理。建立起青少年犯罪综合治理工程等等[3]。

其四，从普及法律知识，方便咨询来说，如一个省能建立起一个法律咨询的电子计算机处理中心[4]，每日处理成千上万件群众来信，解决各种常见而较简单的纠纷，提供开展业务的法律指导，充分发挥法律调节系统在调整、促进经济等各项活动中的功能，做到依法管理经济、依法开展各项建设。现在很多企业、事业单位都要请一至两名常年法律顾问，有的行政单位如税务局、工商业局等也在请。看来正在酝酿着一种“聘请法律顾问热”。这是一种好现象，反映出人们重视法制和法律的作用，要求得到法律的保护，在法律的规范内开展正常的业务活动。但是，从上述我国律师奇缺的这种情况看，一时难以满足这种日益增长的客观需要。如能在我们每一个省内，由省司法厅主办，设一个较有权威的“法律咨询电子计算机处理中心”，把各种法律法规补充以各种判得较好的案例，按系统分门别类的储存起来，建立信心库，只要三五个专职律师（专职律师有较多时间处理较复杂的案件）就可以每日处理成千上万件咨询。这样的中心还可以接受各企业、事业等范围的聘请，作为集体常年法律顾问，满足聘请法律顾问的需要，补充律师的不足（不是不要律师）。这样我们就可以跳过西方资本主义国家片面培养律师（如美国等）的那条老路，开创出一条新路。

其五，从提高法院审判、检察院检察来说，只要各设上一个终端，检察员、审判员可以随时向“中心”索要有关资料，提供参考，最大限度地减少主观因素上的误差，提高办案效率。

总之，正如邓小平同志指出的：“特别是由于电子计算机、控制论和自动化技术的发展，正在迅速提高生产自动化的程度，同样数量的劳动力，在同样的劳动时间里，可以产出比过去多几十倍几百倍的产品。社会生产力有这样巨大的发展，劳动生产率有这样大幅度的提高，靠的是什么？最主要的是靠科学的力量、技术的力量”[5]，又说：“技术问题是科学，生产管理是科学，在任何社会任何国家都是有用的。我们学习先进的技术、先进的科学、先进的管理来为社会主义服务，而[208]这些东西本身并没有阶级性”[6]，这些科学技术同样可以应用于法学，使法治机器运转得最佳而有效，其产品（如判决的案件、提供的咨询、解答的问题、

宁息的纠纷等）也“比过去几十倍几百倍”增加。切勿以法律的阶级性强，而将电子计算机和系统工程的方法拒之门外。

三、社会主义的法制系统工程和法治系统工程

在前一节里，我们讲到利用电脑和系统工程方法，那还是初步的，讲到的大部分工作在资本主义国家里也可以做。在这一节里，我们要专门讲只有在社会主义制度下才能实现的事，即把系统工程的理论和方法应用于我国法制和法治，构成法治系统工程和法治系统工程[7]。首先要明确，我国社会主义法制与法治不同于一切剥削阶级社会的法制与法治。这可以从两个方面来说。

先说社会制度的本质。剥削阶级社会的法制与法治是少数人对绝大多数人即广大人民的统治，目的主要在于维护和扩大剥削阶级特殊阶级利益，加强对广大人民的剥削、压迫与镇压。在奴隶社会里，什么叫法？法主要是奴隶主个人的意志，对人民的生、杀大权都操在他们手里；到了封建社会，情况有些变化，有了更多的法典，但是主要仍是皇帝老子的“金口玉言”说了算。所谓“王子犯法与庶民同罪”多属骗人之词。封建体制当中，各级官僚也有一定的生、杀权力。资产阶级依靠人民力量推翻了封建专制制度，用“民主”来作号召，提倡法治，要求依法守法，以法律为准绳。这显然较封建社会前进了一大步；特别在资本主义早期，如《共产党宣言》上所说的“是非常革命的”。但到了资本主义中后期，资产阶级有法制主要是畏惧于团结起来的人民的力量（通过工业产生了先进的工人阶级）；也用于欺骗与剥削人民，追求最大利润，维护其特殊阶级利益和反动统治。结果他们说的是一套，做的又往往是另一套。比如，他们宪法上规定“国家主权是全体人民的”。实际上却远不是那么一回事。又如，他们公开称道德和法律是互不相干的两回事，可以相互背离（如哈特等的新分析实证主义法学派和凯尔森的纯粹法学），对投机倒把的诈骗行为，他们也说是不道德的，但法律上却不取缔这种行为；相反，投机倒把却是合法的。他们的法律本身矛盾重重，为资本家干坏事留下了很多空子，好让资本家雇佣的律师们利用它来为剥削行为辩护。

我国社会主义法制和法治，是广大人民在工人阶级领导下发挥法的功能，协商一致、通力合作，以实现对社会和国家的最佳治理为目的的事业。其中包括打击敌人的一面，但却不是为了维护剥削阶级或某些个人的特殊阶级利益。作为领导者的工人阶级及其政党共产党，以人民的利益为最高利益，没有本身的特殊阶级利益，这就决定了我国社会主义法制和法治有可能和需要采取多系统“综合治[209]理”的方针，而不像国外那样，只依靠司法机关一个系统的少数人的统治，辅以片面增加律师（美国多至平均五百人中有一个律师）。他们的法治本质决定了

他们不能把“违法犯罪”“灭于未然”，甚至不能“治其已然”。我们的法治本质却提供了充分条件，有可能通过多系统的“综合治理”，在“治其已然”的同时，更着重其“灭于未然”，要这样才能取得整个国家的最佳治理。系统科学和系统工程就是对于一个复杂系统，从综合性出发，通过特定的数量化方法和电子计算机手段，以求得整体最佳效果的现代技术科学。从我国社会主义法制和法治的本质、功能和目的的综合性来考察，需要运用系统工程科学的理论和方法。

再说我国的实际情况。从我国的社会主义法制和法治的对象来看。我国法律的对象是人们的行为关系及其运动规律，通过法律规定各种必备的行为的权利义务，用以调整人们的行为，使之合乎客观规律需要的正常方面，如经济法、科技法、民法、环境保护法、婚姻法等的调整协同功能。对违反协同一致、危害社会正常发展的反常方面的行为，则给以特定惩处，以维护其协同一致，消除一切反常的不安因素，如刑法与治安管理条例等的惩处功能。引起社会不安的因素很多，用现代系统科学的话来说，它来自很多系统。单靠司法一个系统的部门优化，不可能取得整体的最优效果。我国多年来的法治实践证明，有时是一些系统在与犯罪做斗争（如公、检、法等），另一些系统又在制造与生产违法犯罪条件；一方面在消除不安因素，另方面又不断地滋生不安因素。系统间密切联系、相互制约、相互渗透和相互转化，行为关系的正常方面和反常方面也是一样，经常处于相互渗透和相互转化之中。这是因为我国社会法律以人们的行为关系（包括正常方面和反常方面）及其运动规律为对象，而不是以实现少数剥削者的意志或基于这些意志的国家权力为对象。我国社会主义社会关系及其行为的多样性和复杂性决定了我国社会主义法治是一个结构复杂、规模巨大、因素众多、功能综合的大系统。像粮食生产要树立大粮食生产的概念一样，我国社会主义法治也要树立大系统法治的思想。我国法治需要系统工程和系统科学的理论和技术。正如治理黄河不能单靠修堤、防止农业病虫害不能单靠农药，而都要综合治理才能收到最佳效果。这是事物发展的相互渗透规律决定的。我国法律是全国人民代表大会及其常务委员会制定的，是广大人民意志和利益的集中反映，反映了我国社会发展的规律，特别是系统间相互联系、相互制约、相互渗透、相互转化的规律，并把它上升到法律、法学及其有效措施的地位。

四、社会主义的法制体系与法治体系

说明了系统工程方法的确能用于我国社会主义法制和法治的建立以后，我们[210]要对它们的层次性分门别类地做出系统分析，也就是说要构筑出符合于实际的、严谨的、最优的体系结构，系统与系统之间、层次与层次之间互有联系而互

又有区别，界限分明，不重叠交叉、相互抵触、相互违反。否则，法规与法规之间有些地方不协调、不衔接，执法就无所适从，甚至会造成各取所需的情况。辟譬如说，按企业职工奖惩条例，一些厂规定无故旷工多少天就要除名，有轻微违法行为的要开除，不能再回厂。而按关于劳动教养的有关规定，一些解除了教养的人则又准许回原单位。随着我们的法律逐渐完备起来以后，类似问题，如法制系统构筑不够严密和科学，可能会变得突出起来。这是从法律实践的角度来说的。下面是我们的初步设计。

首先是法律体系。去年全国法学理论讨论会上进行过热烈的讨论，有关刊物也发表过一些论文。我们的看法是，按照历史唯物主义观点，划分法律系统的对象只有一个，这就是主要由经济关系决定的社会行为关系，包括正常关系与反常关系等方面，而不宜把主观方法也包括在内。法律体系的科学性决定于它反映社会行为关系相关性的正确程度。随着人们改造客观世界（包括自然、社会以至人类本身）向纵深发展，社会行为关系也变得越来越多样与复杂。以前人们涉及的穷山恶水不超过地球表面。有了飞机，发展到大气层的高空。现在已超过地球引力以外，到了天上、太空。这就引起宇宙空间占有和安全等一系列的社会行为关系，产生了太空法。这样一来，一些关系在某一类关系中产生、壮大、分化出来。这是一种自然过程。例如经济关系不那么复杂时，主要表现为财产关系，只用民法就可以调整，随着经济活动领域的发展，关系多起来了，关系的某一方面和性质显得突出起来了，例如生产计划关系、流通关系、交换关系、消费关系，以至科技教育关系、环境保护关系等都与经济有关，于是经济法从民法中分化出来。而随着环境保护项目的日益繁多（土、水、气、光、温、热、森林、草原、湖泊、野生资源，各种工业资源如铁、镁、钾……），环境保护已不只是关系到经济，而更主要是关系到人们生存的基本条件与健康。看来，它又会从经济法中分化出来（有些国家已成为一个独立的法律部门）。科技、教育关系及其法律也是同样情况。根据关系性质相同、有利于客观发展的需要区分标准，可以考虑将法律体系构筑为国家法（包括宪法、人民代表大会和人民政府组织法、选举法、法院组织法、检察院组织法等）、经济法、科技法、民法（包括家庭婚姻法）、行政法、财政法、劳动法、环境保护法、刑法、军事法、诉讼法、国际法、太空法等 13 个分支系统，每一个系统就是一个法律部门。这 13 个部门的法律密切联系、相互配合，主要发挥社会主义国家的全部功能。这是横的划分，还有纵的层次上的划分，上层管下层，下层不得违反上层。整个法制系统的最高层次是宪法。下面一层是有关基本社会关系主要方面的民法、刑法、经济法、婚姻法等的基本法律（以上由全国人民代表大会制订或修改）。再[211]下一层是修改、补充基本法律的其它法律（即

除应当由全国人民代表大会制订的法律以外的法律，由全国人民代表大会常务委员会制订和修改)，如严厉惩处经济犯罪和刑事犯罪的决定等。再下是行政法规(由国务院根据宪法与上述法律制定)。再往下是地方性法规（由省、自治区、直辖市的人民代表大会及其常务委员会制订)、自治条例和单行条例（由民族自治地方的人民代表大会制订)。最底一层是县人民代表大会及其常委，为了贯彻以上法规颁发的决议和命令，还有经国家认可的习惯。这是一个多系统、多层次的体系。这一体系一定要如实地反映客观的社会关系，要逐步地完备起来，要做到各行业、各部门、各单位、各种团体都有法可依，没有漏洞，又不自相矛盾，不允许任何人钻空子。

其次，从法制来说，由于以上法律规定也就产生了各种法律制度，形成一个完整的体系。这就是立法制度及其系统、法律制度及其系统、执法（包括司法在内）制度及其系统、守法制度及其系统。由这 4 大部件（系统）构成一部完整的法制机器。我国的守法制度有两大特色，一是广泛制订各单位的规章制度和乡规民约，作为法律、法规进一步具体化的补充。它根据法律来制定，但还不是法律，可以看作是准法律系统，起着自觉规范、自觉调整的广泛作用。二是调解治保系统的普遍建立，在司法、执法等政权机关的指导开展活动，与准法律系统相适应起着准司法系统的作用。民间调解委员会的调解也起自觉保证法律实施的广泛作用，具有我国特色。我国现在就有 90 多万个人民调解委员会，在 1983 年就解决了近 700 万起起纠纷。这一法制系统总的来说是适应我国社会发展特有规律的实际的，问题在于如何也用现代科学来武装，使之科学化、现代化，更迅速而有效地运转起来。

为了建立和经常协调这样一个社会主义的法制体系和法治体系，国家需要有一个做法制系统工程和法治系统工程工作的实体。这个实体就如同现代复杂技术工程的总体设计部一样，是国家法制和法治的总体设计部。我国最高立法机构是全国人民代表大会和它的常务委员会，那么这个国家法制和法治总体设计部就是全国人大的咨询参谋机构。总体设计部要有法学专家、法律专家、社会科学家、自然科学家、系统工程和系统科学家，还要有大型电子计算机、图书和资料数据检索系统等。国家法制和法治系统总体设计部具体执行上述的各项工作任务，提出法制和法治的方案，由全国人民代表大会或它的常委会审议、修改、决定实施。设置这样的机关也是我国社会主义现代化建设的一项根本性措施。

五、马克思主义法治科学体系

从法学研究、法学专业设置、课程开设等来说，系统的观点也是同样重要的。

[212]没有一个严密的科学体系，课程（题）与课程（题）就会出现不必要的重复交叉，造成人力物力的浪费，而该开出的课程又未能开出，该研究的问题却没有人从事研究。例如犯罪对策学、教育科技法学以至法治系统工程等等，目前就很少有人从事研究，更不说课程的开设了。为此，构筑法的科学体系，在建立马克思主义法治科学中，有必要作为一件首要必备条件来考虑。

从法学来说，法学的研究对象是法律和法制以及如何最佳有效地发挥其功能以达到总的法治的目的，归根到底仍是以体现在社会实践中的社会行为关系及其规律为对象，因而也有严密的体系结构，有着横向系统和纵向层次的划分。任何一门科学都是人们改造世界（实践）从而认识世界（提高到理论）的结晶，一般由三个层次（台阶）构成。最底层是直接改造客观世界的工艺、技术规程，或者叫做工程技术（工程的概念以前多限于直接改造非生命领域客观世界的可计量的活动，如土木工程、机械工程、电机工程等的狭义理解，随着人们改造客观世界精度的不断提高，现已逐渐地扩大到包括生命、人类以至社会等领域，如基因工程、教育工程、社会工程等）。在最上面是"基础理论"层。介于两者之间，属于"亦此亦彼"的是"技术科学"层。这种层次结构在自然科学中是早就逐渐形成了的。工程技术先是作为工艺，不作为科学的，大约在 19 世纪末、20 世纪初才成为科学，在高等院校中讲授。中间层次的技术科学，是基础理论的运用，同时又是不止一门工程技术的理论基础，形成得更晚一些，大约在本世纪二、三十年代[8]。法学的情况也基本上一样，先是有能直接改造人们行为的行为规范（违反客观规律的法律除外），也是一种工艺，属社会工程技术，也是不作为科学的，在实践的基础上才逐步发展成为科学。如刑法、各种刑事法规发展成为刑法学，各种诉讼法发展成为诉讼法学等，属于社会技术科学。在这层之上的是法学基础理论（基础科学，在国外也有叫做"法哲学"和"法理学"的）。介于基础科学与工程技术之间的技术科学，有些是不止一门工程技术概括为一门技术科学，例如大气污染防治法、水体污染防治法、森林保护法、海洋资源保护法、草原保护法等等概括为环境保护法学。有些则是一、二门工程技术发展成为好几门技术科学。例如刑法与刑事法规发展成为刑法学，刑事侦查学，犯罪心理学，刑事对策学、劳改学、犯罪预测学、法医学等等。这是由于刑法的对象是各种社会关系的反常方面。这一方面很大，而又很重要，要从许多角度作出研究，才能有效地制止这种反常的行为，保证正常关系的顺利开展，不致受到渗透、影响与破坏。有类于研究分子运动的同一规律，从能量的角度（方面）总结出热力学，从分子运动的角度则总结出统计物理两种不同的学科。此外，还有一些概括各门工程技术（法律部门）共同方面的技术科学，如立法学，司法组织学，司法精神病学，比较法

学等。一般来说是先有实践（技术），然后才提升到科学理论。由于各门科学之间的相互渗透、国内外的相互渗透也有先[213]有理论在应用于实践，才产生出完整的工程技术的。例如法治系统工程是从系统工程中引进来的，仍以法治实践为基础，是先有实践，引进系统工程的理论，技术和方法，才形成法治系统工程。从总的科学技术体系来说，大体上有六大部分构成：即自然科学、社会科学、数学、思维科学、人体科学、系统科学。六大部门都分基础科学、技术科学和工程技术三个层次，最后都通向马克思主义哲学。以哲学为基础、核心和最高指导[9]。法学的体系结构大体上可用图 1 表示。

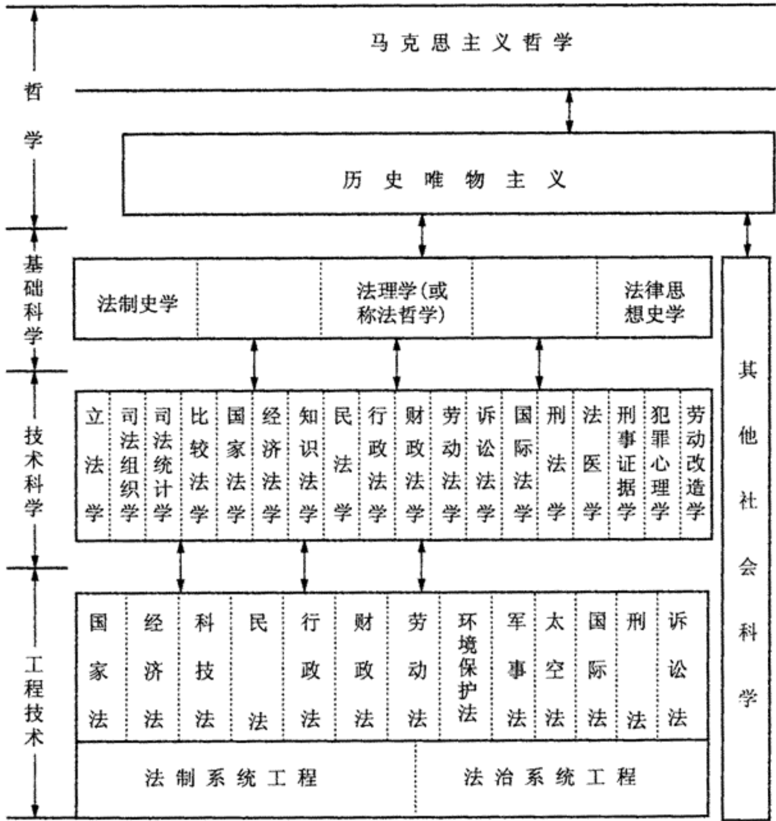


图 1

这是示意图，各门学科并未填全。历史唯物主义是社会科学这一科学技术大部门到人类知识最高概括的马克思主义哲学的桥梁。法制系统工程和法治系统工程都是综合各个方面工作的系统工程。

图 1 是根据各种科学和法学发展的客观规律，按我国法制现状和日益发展需

要所做的大体上的划分。此外，各种已制订或正在制订中的法律法规，例如青少[214]年保护法、计划生育法、优生法等都未能全部概括在内。

我国社会主义法律体系、法制体系与法学体系互有区别而又密切联系、相互渗透贯通、相互配合，都以实现对国家与社会的最佳有效治理为目的，从而组成一个完整的社会主义法治科学体系。法制系统工程和法治系统工程是这一体系中的两门工程技术。它与其它工程技术也是密切联系、相互渗透贯通的。这样就使我国社会主义法治科学体系采用现代科学武装起来，发展成为马克思主义现代化法学。

我们的马克思主义法治科学体系又是一个开放的体系。它本身就是整个以马克思主义哲学为最高概括的科学技术体系[9]的一部分，特别是社会科学的一部分。法治科学与其他科学技术有许多密切联系，要从其他科学技术中吸取营养。

原载《法制建设》1984 年第 3 期。

参考文献

[1] 董必武：《论社会主义民主与法治》，人民出版社，第 153 页。
[2] 转引自刘升平等《社会主义法制基本知识》，天津人民出版社，第 2～3 页。
[3] 张仲绛、吴世宦：《青少年犯罪研究方法现代化初探》，中国社会科学出版社：《青少年犯罪研究》，1983 年第 8 期。
[4] 吴世宦、何博传、刘春龙：《电子计算机法律咨询的设想与前景》，《科技管理研究》，1983 年第 2 期。
[5] 《邓小平文选（1975～1982）》，第 84 页。
[6] 同上 310 页。
[7] 钱学森：《大力发展系统工程尽早建立系统科学的体系》，《光明日报》1979 年 11 月 10 日 2 版，见钱学森等《论系统工程》，湖南科学技术出版社，第 173 页。
[8] 钱学森：《科学通报》（1957）第 4 期第 19 页。
[9] 钱学森：《现代科学的结构——再谈科学技术体系学》，《哲学研究》1982 年第 3 期 19 页。[215]

关于军事科学的结构问题

——在领条座谈会上的讲话

钱学森

军事卷编审室去年 11 月 20 日给我写了一封信，说要在今年初开这个会，让我就军事科学，特别是就大百科全书军事卷的军事科学、战略、战术和军队指挥这几个条目讲一讲。我对军事科学没有研究，也不是学这个的。仅仅是回到祖国以后，在国防科学技术研制工作中，接触到了一些事情。现在我讲的是作为一个外行给在座的内行讲话，讲外行话。

一

近些年我考虑过现代科学技术的结构问题，军事科学的结构和其他现代科学各部门结构总有相似之处，有可借鉴之处。我想讲讲这方面的事情，可能会对同志们有所帮助。

先讲一下历史。现代科学技术的结构，最完整、最明确的一个部门是自然科学，以及经典意义的工程技术。它从西方的文艺复兴到现在，已经有 400 年。因此，自然科学这个部门的结构，可以作为考虑其他科学部门结构的参考。

古典的对自然世界的研究，这是古代的科学。古代的科学不是现代意义的科学。真正现代意义的自然科学是从 16 世纪以后，即从西方世界的文艺复兴开始。在这之后的几百年，在历史上叫作近代科学，以区别于古代的科学。恩格斯讲得清楚：古代的科学属于自然哲学，而不是自然科学。什么是自然哲学？在那时因限于条件，人们对整个自然界有很多研究不到。对这些空白，就用一些思辨的办法、甚至是猜想的办法把它填补起来。用现代的语言表达就是，古代的自然哲学，有的是科学的，有的是不科学的。

从文艺复兴之后走了另外一条路：不能用想象的东西来代替客观存在的。要老老实实、一点一滴地从自然的实际来研究。这样一个精神，使自然科学开始从自然哲学中分离出来。到了 19 世纪下半叶，如恩格斯所说的：经过 300 多年的历程，自然科学的体系已经建立了起来。距今 100 多年以前，恩格斯在《路德维希•[216]费尔巴哈和德国古典哲学的终结》中讲得很清楚，他说："自然哲学"完成了它的任务，可以消灭了，不需要了。他说，在那以后，如果再提"自然哲学"，

那不是前进，而是倒退。

自然科学经过 300 年的历史，已经完成了一个体系。这个体系已经把对客观世界的认识，可以看成是一个统一的、互相联系的、一个发展过程的学问。但也必须说明，恩格斯在 100 多年以前认识的自然科学，和我们今天认识的自然科学，是有区别的。这个区别，第一是在于那时的自然科学还仅仅是作为认识客观世界的学问。还没有把认识客观世界的这一整套知识直接用来改造世界。那时的自然科学只是今天自然科学中的基础科学，如天文学、物理学、化学、力学、声学等等。恩格斯在《路德维希•费尔巴哈和德国古典哲学的终结》中，概括了自然科学的这段历史。而且他本人把自然科学和马克思主义哲学联系起来，这就是他多年要写的《自然辩证法》。但他没有写成这部书，仅给我们留下了初稿。他写《自然辩证法》的目的，在给马克思的一封信中讲清了，他要把辩证唯物主义用到研究自然科学上，另一方面，他要把自然科学研究的成果，用来解释、深化、丰富辩证唯物主义。

在一个世纪以前所做的，就是自然科学认识客观世界的这一部门学问，使自然科学从自然哲学中脱离出来，形成了自己的一个完整的体系。在这个体系中，提出了自然辩证法，用我的话来讲，就是建立了一个通向马克思主义哲学的桥梁。

直接改造客观世界的自然科学——工程技术，恩格斯还没有把它概括到他的文章中去。18 世纪产业革命，出现了蒸汽机以后，虽然工业技术有了很大的发展，但在很长的时期里，机器的制造、生产的工艺，人们认为都是手艺人的事，是能工巧匠的事，没有把它看成是学问。

到了 19 世纪初，拿破仑开始在法国建立了军事工程学校，这是第一次在学校里，在高等院校的水平上培养专门的军事工程师。那时的民用工程技术还落在后面。“工程师”这个词原来的意义是指军事工程师。军事工程第一个扩展到民用工程的是土木工程，因为那时的军事工程主要是架桥筑路、构筑防御工事，和土木工程很相近。“土木工程”外文的原意是民用工程，是和“军用工程”相对而言的。以后，民用工程发展的就很多了，出现了各种各样的工程。如机械工程、电器工程、水利工程等。直到上个世纪的下半叶，就是 100 多年以前，这些工程技术才被认可为学问，是科学了。世界上出名的工科大学，如美国的麻省理工学院，都是在那时出现的。这是在恩格斯以后，自然科学这个部门的发展。

在自然科学这个部类里，最高层次是马克思主义哲学，或者叫辩证唯物主义，下面一个桥梁就是自然辩证法，通过这个桥梁到自然科学的基础科学——认识自然界、客观世界的自然科学。这三个方面的内容恩格斯已经给明确了。紧接着出[217]现的，改造客观世界的工程技术这个部门，恩格斯本人还没有来得及概括进去。

在直接改造客观世界的自然科学——工程技术之上的理论部分，即自然科学的基础科学，再通过自然辩证法这一个桥梁到马克思主义哲学，这么一个结构好像是比较完整的了。但事物是发展的。到了本世纪的上半叶，又出现了一个变化，出现了介乎工程技术和基础科学之间的技术科学——应用科学。从前我搞过一段力学，搞的就是应用力学。应用力学就是属于应用科学，它是许多工程技术都要用的关于力的作用的一些理论。但它比基础科学的力学更具体，它把牛顿三定律在许多情况下更具体化了，但又不是只为哪一个工程技术服务。机械工程要用应用力学，土木工程要用应用力学，水利工程要用应用力学，航空、航海更要用，甚至气象预报也要用。所以，它是介乎自然科学的基础科学和工程技术之间的一个部类。这是 20 世纪初出现的。20 世纪以后出现的技术科学就更多了，如电力学、电子学……它们都属于自然科学的应用科学部类。

自然科学从文艺复兴开始，经过了 400 多年的发展，形成了一个比较完整的体系：它的最高层是马克思主义的哲学，然后是一个桥梁——自然辩证法，然后是自然科学的基础科学。然后是更接近应用的技术科学——应用科学，最后是直接改造客观世界的工程技术。四个台阶，一个桥梁，最高层是马克思主义哲学。

通常说的“设计”是工程技术，常讲的“工艺”也应当属于工程技术。有的同志可能想，“工艺”好像要低一些，这是因为“工艺”的发展晚了些。实际上“工艺”变成一门科学比设计还要难，今天的工艺问题已经非常重要了，如电焊工艺、金属切削工艺，这些都是学问，不能光说它是“工艺”。

二

现代科学技术发展到今天，部类是扩展了。从前，我们说科学分自然科学和社会科学，这是把数学放在自然科学里。但自然科学要用数学，社会科学也要用许多数学的方法。这就要求把“数学科学”分出来。最近科学院开了学部大会，数学家们说，把数学和物理、工程捆在一起不合适，要扩大领域，提出了“数学科学”这个概念。我当然赞成，我早就主张把数学科学拿出来。

其他如“系统科学”，因为要研究复杂的系统，实在太重要了，要单独开出来：“思维科学”，研究人的思维，也应单独出来：“人体科学”，因为人是最高级的“万物之灵”，确实复杂，也应单独出来。

这样，不包括“军事科学”，已经有了六个大部门。因为自然科学已经有了四百多年的历史，其他都是 19 世纪以后才形成的，所以都可以采用老大哥——自然科学结构的模式，四个台阶，最高是马克思主义哲学。通向最高一个台阶的桥梁，[218]在自然科学是自然辩证法；在社会科学是历史唯物主义；在数学科学是数学

哲学；在系统科学是系统论；在思维科学是认识论；在人体科学是人天观。这些看法我在另一篇文字（《现代科学的结构——再谈科学技术体系学》，《哲学研究1982 年 3 期，19～22 页）里已经讲了，这里就不重复了。

三

军事领域的科学叫做“军事科学”。实际上就是“军事工作的科学”。如果这样来看军事科学，它也是在演变的，而且在很快地变革。

首先是军事技术。军事技术就是军事科学中相当于自然科学中“工程技术”这个台阶的。拿破仑时代的军事工程，就是最老的“军事技术”，军事技术里再有一部分就是在 20 世纪得到了很快发展的“武器装备技术”。军事工程和武器装备技术，是我们大家比较熟悉的两个军事技术组成部分。

军事技术也在变革，这个变革的一个重要部分就是军事系统工程。军事系统工程就是把系统工程用到军事问题上来，包括军事的各个部分，作战、指挥、后勤都在用它。所以，今天的军事技术就不能忽略这么重要的一个部分。再有一点，就是在武器装备这个技术里，又出现了一个非常重要的部分，人—机工程。就是研究解决人和机器如何更好地配合，如何更充分地发挥人的作用。在武器设计里，人—机配合得好，这个武器使用起来威力就可能增加。通俗地讲，一个武器不好使就别扭，好使唤威力就大。所以，人—机工程是很重要的。

军事系统工程和人—机工程，这是两种新的学问，是 20 世纪后半叶才出现的新东西。这就是军事技术上的变化。在就“军事技术”这个领条征求意见时，我就提出，用老皇历不行了，一定要把应用技术里的军事系统工程和装备技术里的人—机工程包括进去。

现代战争的规模在扩大，在战争中不断使用的新技术，这使得我们考虑战争这个问题有了许多变革。我最近考虑，美国和苏联从霸权主义出发，想搞全球的军事控制和侵略。他们要把全地球都按住，必要时也要侵入别的国家，这就要遭到被侵略国家人民的反抗。所以，他们考虑的突出的一点，就是使它的武器、设备单独出去就能作战。或者说，现在需要的是，侦察、电子、通信，这在装备上都得配全。基本上就是这样一个思想。所以，他们的装备就越来越复杂，表现在造价上就是越来越昂贵。美国的一般航空母舰，造价就将近 100 亿美元，包括船只、装备和飞机，而对付敌人飞机的力量，也只有二、三十架，其他六、七十架飞机，是为了保护这艘航空母舰的。100 亿美元的代价只能有二、三十架飞机去对付敌人，这是非常之高的。现在美国制造的B－1 轰炸机，造 100 架，要 200 亿美元，一架飞机[219]要两亿美元。美国现在的战斗机已经达到二、三千万美元一

架，再下一代恐怕要达到一亿美元一架。不止如此，他们现在还考虑更新、更先进的作战装备体系，比如考虑在天上打仗。这是在卫星轨道上去打敌人的战略核导弹，分三个阶段、多层次地打；一个阶段是起飞阶段，敌人的导弹一起飞就打；中间阶段，是在起飞加速阶段完了以后，在高空飞行阶段打；然后是在再人大气层这个阶段打。天上的卫星站，据他们说，要在 150 秒至 300 秒，也就是在 2—5 分钟的时间里，要摧毁 1000—2000 个目标。这是用任何人的指挥系统所不能完成的，必须用计算机、自动化，也就是C^2I系统，用情报、通信、组织指挥的自动化系统来对付。这样一个系统，到底要花多少亿美元？至少要几千亿吧。搞这样的东西，要比第二次世界大战时的装备费用增加一千倍！这在目前他们是做不到的。因为从第二次世界大战到现在的 40 年的时间里，生产总值如果要增加 1 000 倍，年均增长率就必须达到 18.9%。无论是美国还是苏联，都远远没有达到。这就是说，他们的国民经济发展保证不了他们放手跟着技术的发展去搞他们设想的战争，美国现在的国民经济总产值也就是三万亿美元，里边还有虚数，他要那样干是不够的。这就不难理解为什么美苏老是在谈判，虽然吵得不得了，甚至要中断，但还要再谈下去。就是因为真是撒开腿搞军备竞赛，美国受不了，苏联也受不了。谈判无非是要走慢一点，你不要走太远，我也不走太远。我们不能跟他们走，我们的国力不允许这样办。

看到上述的情况，我们就只能得到结论：因为我们要打的是反侵略战争，人民在我们这一边。装备、作战这一套东西，我们搞我们的。这就是说，要研究新时代的“小米加步枪”问题。我们也要把现代科学都用上，但不是打他们那种战争，要打现代化的人民战争。

这就归结到这样一个问题，我们绝不能用上一次战争的老办法去打下一次战争，因为战争不一样了。是不是可以在战争中学习战争呢？这样当然也行。但这里有一个战争初期的重要性问题，就是说，没有时间或几乎没有时间给你学习。因为他们都是搞突然、全面、大规模袭击，这个开始和过去战争的开始是不一样的，如果战争初期处理不当，你的损失就太大了。军事科学要考虑到变革的情况，军事科学要现代化，所有的科学技术，对我有用的，我都要把它用起来，不要被旧的东西束缚住了。

四

军事科学也必然越来越多地用数学的方法，越来越变成一门定量的、精确的科学。尽管军事的情况确实是很复杂的，定量分析有很多困难，但还是要努力朝[220]关于军事科学的结构问题这个方向走，这样才能够考虑到任何新的情况的变

化。技术上新的变化，战争规模、条件的变化，马上会影响到你的战略、战役和整个战争的指挥。这就是说，军事科学不管其历史是怎样发展，也一定越来越接近于其他科学部门的情况，它的独特性将逐渐地消失。在考虑军事科学的组织、结构的时候，不能不考虑其他科学的结构，因为它们有共性，而且共性越来越重要。或者说，军事科学越来越现代化、科学化，军事科学要纳人现代的科学的模式。这样，军事科学的最高层次还是马克思主义哲学，下面分一个桥梁和三个台阶，这么一个结构。这是大势所趋，是根据最完整的自然科学 400 年的发展而形成的。将来可能还有新的发展，但现在还没有看到。

这样，军事科学这个部门到马克思主义哲学的桥梁是军事哲学，下面三个台阶是基础科学，应用科学和军事技术。但这样分法我们多数同志还不习惯，而且我们要跟历史取得衔接。在写书的时候，要照顾到现实，也就是看到我们军事科学历史的发展。我们不能够一下子变成刚才所说的模式。我们的习惯，我觉得是把这个结构的上面这两级，就是军事哲学和军事基础科学，合成一起叫“军事思想”。“军事思想”这个词我们不能够放掉，因为现在我们都强调学习毛泽东军事思想。毛泽东军事思想就是军事哲学加上军事基础科学。它的底下就是另外那两个台阶：一个是军事应用科学，一个是“军事技术”。大家已经习惯了用“军事技术”这个词，它所指的就是军事上的工程技术，即用来改造客观世界的科学技术，包括军事工程、武器装备技术（包括人—机工程）和军事系统工程。在它的上面，是军事应用科学，我们习惯上称为“军事学术”。

这就遗留下来了一个“军事运筹学”问题，看来它好像是介乎“军事学术”和“军事技术”之间的。而“军事运筹学”条目释文初稿，也好像一部分是军事学术，一部分是军事技术。但要彻底一点，我觉得可以把它归结到“军事学术”里，因为在系统科学里是这样划的，系统工程是工程技术这个台阶的，运筹学是它上面的一个台阶，要归就归到“军事学术”里，这是我个人的看法。

总归一句话，我在不久前大百科全书军事卷第三次编委会上讲的，中华人民共和国的《中国大百科全书》军事卷是了不起的，这两卷本出了，全世界的军事学术界和指挥部门，都要一个字一个字地去抠的。因此，我们要写出水平来，我们一定要写出一个符合全世界情况和体现现代化水平的军事卷。所以，我建议要打开眼界，统观全局，看到世界的现实，确实反映今天世界的军事科学。不要让框框把自己框住。

本文是 1984 年 1 月在《中国大百科全书》(军事卷)领条座谈会上的讲话。原载《军事卷通讯》1984 年第 27 期。[221]

新技术革命与系统工程
——从系统科学看我国今后 60 年的社会革命

钱学森

我认为系统科学就是从局部与整体、局部与系统这样一个观点去研究客观世界。在系统科学[1]中，直接改造客观世界的技术是系统工程。指导我们作系统工程的一些普遍的、理论性的东西是运筹学、控制论、信息论。这三门学问是技术科学性质的，是直接为系统工程服务的理论。还有一门学问我们正在建立，这就是系统学。系统学是系统科学的基础理论，就如同物理、化学等自然科学的基础科学一样。这些学问还要与马克思主义哲学联系起来，用马克思主义哲学来指导这些学问的研究。这中间需要有一个桥梁，就像从马克思主义哲学到自然科学中间有一个自然辩证法、从马克思主义哲学到社会科学中间有一个历史唯物主义一样，这中间的桥梁我认为就是系统论。人类一切知识的最高概括就是马克思主义哲学，即辩证唯物主义。那么，从桥梁即系统论开始到基础科学系统学，再到技术科学控制论、信息论、运筹学，最后到直接改造客观世界的学问系统工程，这一整套学问我称之为“系统科学”，以有别于社会科学、自然科学。所以，按照我的看法，“系统科学”比“系统工程”的含义更广，是科学技术的一个大的部门。

科学革命与技术革命

革命就是事物发展过程当中所出现的飞跃，是急剧变化、质的变化。马克思主义认为，一切事物是不断发展着的，但不是平稳的。有时发展慢，或者暂时静止不动，甚至倒退；有时发展很快，有质的变化，形成飞跃。这种飞跃用经典哲学名词可称之为“扬弃”，我们通常称之为“革命”。从这个观点出发，那么，什么叫“科学革命”呢？科学革命就是人认识客观世界的飞跃。科学革命这个词首先是由一个美国科学哲学家T．S．库恩提出来的，他在 30 年代写了一本书，书名是《科学革命的结构》，已有中译本出版[2]书中提出了一个很正确的观点，就是科学的发展不是平稳前进的，中间可以出现大的、质的变化，出现飞跃。他把这个质的变化、这个飞跃称为科学革命。我认为他的这一观点是对的，当然书中所讲的东西[222]不一定全对，也有许多我们不能接受的观点。但我肯定他提出科学的

发展有革命是对的。去年 4 月，我在六个单位组织的“新技术革命知识讲座”中已经较详细地讲了科学革命的问题。我认为在人认识客观世界的全过程中，有很多次飞跃，这就是科学革命。比如说，前人认为太阳、月亮是绕地球转的，即所谓的“地心说”，后来人们认识到地球是绕着太阳转的，即“日心说”，这就是人认识客观世界的一个飞跃。像这种推翻过去的认识，建立新的认识，就是科学革命，历史上这样的例子很多。

现在我们也面临着一个科学的大的发展，或叫科学革命，就是人认识客观世界的一个飞跃。现在科学发展的一个重要方面就是高能物理、基本粒子。这些学问实际上是说明：我们这个世界到底是怎样的世界。从 17 世纪的牛顿力学开始，我们研究的是宏观世界，就是从太阳系到地球上的东西，如汽车、人是如何运动的，这些是对宏观世界的认识。到了 20 世纪初，特别是 20 年代末 30 年代初，发生了这么两件事：一是量子力学的出现。量子力学研究的是比分子更小的东西。分子的大小为10^{-8}厘米，在这个尺度以下，牛顿力学无能为力，要用量子力学。这就是从宏观到微观，宏观用牛顿力学，微观就要用量子力学。二是广义相对论的诞生。如果研究范围扩大到比太阳系还要大，如银河星系，牛顿力学也就不行了。银河星系像个大盘子，直径为 10 万光年，对这样大的范围进行研究就要用广义相对论。所以，天文学家说，宏观尺度以上，还有一个叫宇观。这样可分为三个层次，最大的是宇观，其次是宏观，最小的是微观，研究的对象分别是银河星系、山川物体和基本粒子。

随着自然科学的发展，现在发现微观世界中，物体之间有四种作用力，最初的是万有引力，稍大一些的是弱作用力，再大一些的是电磁作用力，最强的是强作用力。物理学家觉得这四种作用力太多了，于是要求建立一个完整理论，把这四个作用力统一起来，这就是大统一场论。在对这一理论的研究中，现在发现要把它们统一起来，就必须考虑一种新的作用力的场，这种新的场是英国爱丁堡大学希格斯发现的，这个场就被称为“希格斯场”。这个场极细小，远远要比基本粒子小，它的大小为 10^{-34}厘米，所以微观不行了，需要有一个新概念，这就是微观以下的一个层次，我随便称之为“渺观”。渺观中的希格斯场恰恰又可以用来解释我们现在的宇宙是怎样形成的，这样最小和最大就联系起来了。过去在物理学界和天文学界曾根据天文观测提出一个叫“大爆炸理论”的学说，它认为我们现在的宇宙，从望远镜观测的结果来推算，大约的尺度是 100 多亿光年。但如此大的宇宙开始时是很小的，是逐步膨胀的、“爆炸”的。这一理论过去曾碰到过问题，宇宙在爆炸的第一瞬间之前是什么东西呢？这在哲学上解释不通，这个问题恩格斯在《反杜林论》中就提出过。现在用希格斯场可以解释了，爆炸的过程是很复

杂的，这不是[223]唯一的爆炸，宇宙是无限的，这一爆炸只是宇宙的一个局部的爆炸，这样宇宙起点问题就解决了。这样就不能称为“大爆炸理论”，而要称为“膨胀理论”。所以，在宇观之上，还有多个宇宙同时存在的问题，这是由“膨胀理论”引起的，我给它起个名字叫做“胀观”。

总之，近十年物理学界、天文学界的工作又给原来的“宇观”、“宏观”、“微观”加了两个层次，叫做“渺观”和“胀观”。胀、宇、宏、微、渺，一共五个层次。这种对客观世界的认识过程还在发展中，现在尚未定论，但是可以看到一个趋势，从解决四种相互作用力的场论开始，又涉及到宇宙论，将来这一理论建立以后，当然是人认识客观世界的一个飞跃，是科学革命。这一科学革命出现以后，我想，哲学家们曾提出过的所谓“本体论”就不必要了。刚才所讲的“五观”，讨论的就是客观世界本质是什么、本原是什么的问题，这恰恰属于本体论讨论的范围。本体论是用思辨来讨论问题的，但是对客观世界本质的问题，本体论没有解决，现在科学可以解决了。所以，我认为自然科学里有一个即将到来的科学革命。

关于技术革命，现在谈论得就更多了，我就不准备多说了，只是稍提一下。我认为技术革命的概念或定义还是用毛泽东同志提出的建议：什么叫技术革命？技术革命就是技术领域里的重大变革。他举了三个例子：蒸汽机、电力、原子能。这就很清楚，技术变革就是人改造客观世界技术的飞跃，这个新技术的出现要影响一大片，影响生产力，这就是技术革命。

在即将到来的技术革命中，我提请大家重视人工智能的重要性。智能机就是超出电子计算机的计算功能，要有人的智慧，或部分智慧。现在日本搞的第五代计算机就是这种，美国、西欧也纷纷开始搞，这可能是即将到来的新的技术革命。

社会革命及其三种类型：
产业革命、政治革命、文化革命

除了科学革命和技术革命外，现在讲得较多的还有新的技术革命和新技术革命，这两个词怎么区别？我的理解是新的技术革命可能指单项的技术革命，如电子计算机、遗传工程、生物工程、激光、光纤通讯等。新技术革命可能是统称。经常使用的还有两个经典的老词：产业革命和社会革命。此外，苏联人常用科学技术革命，美国人常用第三次浪潮、第四次产业革命等新词，概念大多不很清楚。

我认为，社会的发展当然是有飞跃的，那么是不是社会发展进程中的飞跃就是社会革命呢？邓小平同志多次讲过，改革是一场革命。1984 年 2 月 31 日《世界经济导报》头版头条刊登了一篇题为《中共中央总书记胡耀邦最近提出破除小农经济思想和封建宗法观念》的报道，文章的第一句话是：“中共中央总书记胡耀

邦[224]最近指出，改革是一场深刻的社会革命”。1984 年 10 月 18 日《光明日报》发表的一篇题为《观念更新与改革文艺》的文章中也提出：“现在我们面临的是一场社会革命”。所以，“社会革命”这个词现在用得比较多。《未来与发展》1984 年第 4 期发表了中国社会科学院马列研究所的冯兰瑞和刘世定同志的文章《以马克思主义的科学态度和方法研究世界新产业革命》，用了“产业革命”这个经典词，我很赞成这篇文章的主题。我还接到湖北省委政策研究室的姚志学同志的来信，他提出要用系统的方法来分析研究科学革命、技术革命、产业革命和社会革命，我也很赞成。

那么，什么是马克思主义的科学态度和方法呢？我们说科学的发展是社会现象，技术的发展也是社会现象，研究社会现象要用马克思主义的什么方法呢？当然是历史唯物主义。历史唯物主义的基本观点是社会的发展是由于生产力的发展，这里有两组基本概念：一是生产力与生产关系，生产力推动生产关系，生产关系反作用于生产力；二是经济基础与上层建筑，经济基础推动社会上层建筑的发展，上层建筑也反作用于经济基础。这是历史唯物主义两个最基本的观点。从这个观点出发，我们认为科学革命和技术革命都属于基础，或叫基础性质的东西，因为直接推动生产力发展的是技术革命，而技术革命的来源是科学革命，要改造客观世界当然首先要认识世界。当然人类历史发展的初期是无所谓科学的。例如，在远古时代，人也有技术革命，如火的利用、铁器的制造，但那时还谈不上什么科学，所以那时不一定有科学革命，但是已经有了技术革命。但是，在现在人要先认识客观世界以后才能改造客观世界，认识客观世界的革命是科学革命，这样科学革命就成了技术革命的先导。但不管怎样，无论是科学革命还是技术革命，毕竟要引起生产力的革命。社会科学所研究的是更上面一个层次，即生产力与生产关系、经济基础与上层建筑这些问题。这些我们必须认真研究。

我得益于中央党校刊物《理论月刊》1984 年第 8 期上发表的一篇题为《社会经济形态不是社会的经济形态》的文章。这里涉及到社会形态。社会形态是马克思提出来的，马克思首先用这个词是德语 gesellschaftsformation，后来译成俄语 обществення формация。马克思在《资本论》第一卷序言中用一个“经济的社会形态”即德文的 ökonomische gesellschaftsformation。我查了一下，郭大力、王亚南译本中这个词的翻译是正确的，译为“经济社会形态”，也就是经济的社会形态。但是文章的作者认为这样一个德文词译成俄文就出了点乱子，变成了“社会经济的形态”即 общественно－экономическая формация。“社会经济的形态”在《马克思恩格斯全集》的《资本论》中译本中变成了“社会经济形态”，而且中间少了一个“的”字，这就很容易被理解为“社会的经济形态”，所以文章的作者提

出了辩解，他说，社会经济形态不是社会的经济形态。我认为这里存在一些混乱，应当予以清[225]理。马克思所用的概念的含义很清楚，是“社会形态”。什么叫社会形态？马克思举了很多例子，如原始社会、奴隶社会、封建社会、资本主义社会、社会主义或共产主义社会，这里所说的社会形态就是整个社会的组织结构。从这里我们还想到在马克思的时代，中心问题是无产阶级与资产阶级的阶级斗争。当然恩格斯在《英国工人阶级状况》一书中用了产业革命这个词，但在那个时代科学技术对于社会形态发展的研究看来还未受重视。我们今天看问题要首先明确社会形态这一个基本概念，在对这一概念的理解中我们一定要坚持历史唯物主义的观点，即生产力与生产关系的关系、经济基础与上层建筑的关系。从这个观点出发，我们要考虑到社会形态的几个方面：一个是马克思已经提出的，即经济的社会形态；另外还有两个，一个是政治的社会形态，另一个是意识的社会形态，意识的社会形态也就是我们通常所说的意识形态，现在我把它明确下来，意识形态不是指哪一个人的意识，而是整个社会的意识，称之为意识的社会形态。这样就很清楚了，经济的社会形态的飞跃是产业革命，政治的社会形态的飞跃是政治革命，意识的社会形态的飞跃是文化革命。而产业革命、政治革命和文化革命就是广义的社会革命。社会形态的变化、飞跃就是社会革命，但社会革命可以由不同侧面所引起，而且具有不同性质。产业革命、政治革命和文化革命都是社会革命，是比科学革命和技术革命更高层次的革命，它们都会引起社会形态的根本变化。所以说，我们习惯用的一个命题，即社会形态的交替必须通过社会革命，还是成立的。我只是把引起社会重大变革的这些事实放在一个体系中去研究，这就是系统的观点、系统科学的观点了。

产业革命和中国面临的产业革命

根据以上定义，经济的社会形态的飞跃就是产业革命，我认为人类历史上已经发生过四次产业革命。

第一次产业革命，发生在 1 万年以前。人类是以打猎，采集为生发展到以畜牧业和农业为生。

第二次产业革命，发生在奴隶社会。生产发展了，人们不再专为自己而生产，而是为交换而生产，也就是商品的出现。这里顺便提一句，十二届三中全会提出要大力发展商品生产，我们有的同志以为商品经济就是资本主义，有点担心。其实商品经济早就出现了，它并不是资本主义社会所特有的，奴隶社会、封建社会也有，因此商品经济不是与某一特定社会制度结合在一起的，我们今天的商品、货币等等就是社会主义的经济范畴。

第三次产业革命，发生在 18 世纪末、19 世纪初。由于蒸汽机的出现引起了大[226]工业。但是应该说这时的大工业还不是现代意义上的大工业。

第四次产业革命是在 19 世纪末、20 世纪初。工厂的组织形式发生了巨大变化，工厂的规模从一家一户扩大到国家或国际范围，对此列宁在《帝国主义是资本主义的最高阶段》一书中着重讲了它的政治意义，经济方面的意义也讲了，但讲得不太多。

目前国外称之为第三次浪潮或第四次产业革命的一次新的产业革命，应该是第五次。

从中国来看，情况有所不同。我们经历了这么长的封建社会，还有 100 多年的半殖民地半封建的社会，我们落后了。英国 18 世纪末、19 世纪初所进行的第三次产业革命，在我国是在建国以后随着工业体系的建立才搞起来的，而且各自为政的情况非常严重，我 1955 年回国后看了很吃惊，每建一工厂从螺丝钉开始什么都生产，这在西方国家是没有的，那里都实行专业化生产。一个机械工业工厂连螺丝钉也要自己生产，这就是 18 世纪末、19 世纪初的古老的生产方法。十一届三中全会以后，中央的政策是完全正确的，2000 年将实现翻两番的目标。小平同志还讲，我们要用 50 年的时间赶上世界先进水平。我们面临的任务就是要在 60 年的时间内补上第四次产业革命的课，迎头赶上，迎接正在酝酿的第五次产业革命。而且我认为展望 21 世纪，中国要以农村为基地，发展高度知识密集型的农业型产业，即我以前所讲的五业：种植的农业、林业、草业、海业和沙业。这是 21 世纪将在中国出现的第六次产业革命。今后 60 年就是要补第四次产业革命的课，迎头赶上第五次，准备第六次。这是非常艰巨的任务，世界历史上没有过。第四、五、六次产业革命一气呵成，当然中间要分阶段。在这个艰巨任务面前，我们要学的东西很多，现在至少要了解一些情况。外国人写的一些书可以看看，如托夫勒的《第三次浪潮》、奈斯比特的《大趋势》和托夫勒的新作《预测与前提》。要了解世界先进国家碰到的问题是什么，今后我们要尽量避免。

我们搞经济科学要迎接今后 60 年的变化。经济科学中应该着重研究什么学问？我们研究较多的是政治经济学，是研究生产关系的。对于生产力的经济学我们也要研究，即生产力经济学。我要提出一门新学问，即“金融经济学”。1984 年底我国银行存款 1400 亿元，这是一个不小的数字，但这笔钱没有充分利用，银行既要吸收，也要贷放，这样才能充分利用社会闲散资金。开展租赁业务也是一种金融办法，还有分期付款等等。今年 1 月 26 日《经济日报》发表的《高利率——美国经济的新特征》一文指出，里根政府之所以能维持下去，就是靠资本主义那一套金融办法。说穿了，里根政府赖以生存的就是政府向银行借钱，然后通过

政府各项购买，尤其是购买军火，让资本家赚钱，进行投资。政府财政赤字已从里根上台时的 400 多亿美元猛增到现在的 2000 亿美元，政府背的债务就是掏将来人民的[227]口袋，过去民主党政府还没有悟出这个道理，政府投资没钱就靠滥发纸币，引起通货膨胀，这种办法等于是掏现在老百姓的口袋。这些都是在金融领域玩花招，如果我们不研究金融经济学，就看不透里根政府这套把戏。我们是社会主义国家，实行的是有计划的商品经济，商品经济就有一个钱的问题，而钱是金融经济学所要研究的。我认为政治经济学、生产力经济学和金融经济学这三门是经济科学的基础。

现在存在着微观经济学和宏观经济学，也有人提出了中观经济学，那么是否还有一个宇观经济学呢？所谓微观经济是指一个企业的经济，所谓宏观经济是指一个国家的经济，而中观经济可以是一个行业的经济，也可以是一个经济区的经济或一个行政区的经济，这样宇观经济就该是全世界的经济体系了。目前大家对经济区域的划分还在讨论，国家只明确了一个上海经济区，包括上海市和苏、皖、浙、赣四省。所以四门经济学都还有许多工作要做。但我们应该看到，微、中、宏、宇都是相互联系着的，不过是整个世界经济体系的不同层次。而我们现在的研究还是分家的，微观就是微观，宏观就是宏观，微观与宏观之间没有一个桥梁。前几年我曾提出[3]，在自然科学中从微观到宏观有一个统计物理，用统计物理的方法去研究单个分子运动与千千万万个分子运动之间的关系，那么，我们经济学中是否应该有一个统计经济学呢？这当然不是一般意义上的经济统计学，我认为，应该有一门综合四个层次的经济学，要阐明从一个层次过渡到相邻层次的机制和理论。

与系统科学相仿，基础科学这个层次下面还有一个技术性质的学问，数量经济学恐怕起的就是这个作用。最后，直接与实际经济生活接触的是部门经济学，它们与客观世界的关系最密切，其中有国土经济学、工业经济学、农业经济学、生态经济学、计划学、国防经济学等等。

今后 60 年应抓的三个方面的工作

要做好上述我国社会形态的转变，我认为在目前大家讨论的各种问题中尤其应该注意三个方面的工作：信息情报事业的建设、应用系统工程与开展系统学的研究和大力培养与提高人民的智力。它们都是关系全局的大问题，以下将逐个作些说明。

（一）信息情报事业的建设

现在信息社会讲得很多，但也有的同志对这种提法表示怀疑。在武汉举行的

“经济发展战略与经济体制综合改革理论讨论会”上，童大林同志对当前信息社会的提法提出了质疑，希望大家对这个问题开展讨论。我认为信息情报是非常重要[228]的，对此我有切身体会。可是，在我国科技信息是很不灵的。我在国外呆了很长时间，从事研究工作，我当时就有这么一种想法，如果在我这个行业有了一项科技成果，并且公开发表了，而我在一个星期内还不知道的话，那么我就是失职了。当时我周围的人也都有这个想法。但是，目前在我们中国一项成果发表了半年、一年还不知道，也觉得无所谓，信息如此迟钝，怎么能不坏事呢？我们缺少一个情报体系，都是各人单独搜集情报。

信息情报工作大致有三个方面的内容[4]：一是情报的搜集。现在搜集情报的渠道非常多，渠道本身也是不断变化着的，搜集情报的量是相当大的。二是情报的储存和检索。这方面的工作在技术手段上已经有了很大的发展，储存有磁带、激光盘，检索靠电子计算机。

以上这两个方面的工作在我们国家还需要花很大力气才能建立起来，单靠个人搜集情报的方法不行，一个人订十几份、几十份报纸，这当然可以得到部分信息，但毕竟是一个古典的办法。这两方面的工作大家提得比较多，我要着重谈谈第三个方面的工作，即知识的活化，就是说搜集来的情报存在库内要随时可以提取出来，否则这样的情报或知识是死的，真正有用的情报是活情报。可以举几个例子说明这个问题。

在普法战争期间，马克思住在英国伦敦，恩格斯住在曼彻斯特。恩格斯常常写关于普法战争情况的文章。有一次他预见到将要打一次大仗，这一仗怎么打法，最后胜败如何，恩格斯都预见到了。他马上写了一篇文章，并立即用快邮寄给马克思，让马克思交给伦敦的一家报纸。马克思收到文章后立即坐上马车赶往报纸编辑部，第二天早上这篇文章及时见报了，这时战争已经打起来了，战争的情况、进展、以至于结果都与恩格斯的预见完全一致。那么，恩格斯有什么特殊情报渠道呢？没有，只是靠报纸发表的消息，但是他有马克思主义哲学、军事学，建立了事物的系统的框架，只要把报纸上发表的一些事实填到框架中，那么，战争的进程、结果就一目了然了。报纸上发表的消息是一种死知识，恩格斯对这些死知识进行分析加工，把它放到一个系统的框架中去，这就是死知识的活化过程。

以上这个例子说明，信息、情报在资料库里是死的，把这些死的东西提取出来，经过组合、分解，用系统工程的分析方法弄清其相互关系、历史的发展过程，这样就把死情报活化了，不明显的东西变得很突出了，这就是情报研究。今后情报研究的工作量要比过去大得多，如果完全依靠人工是不可想象的，要借助现代化分析手段，这就是智能机。虽然智能机只能代替一部分人的智能工作，但这就

可以省好多事。智能机与信息系统的结合是非常重要的，没有这个结合，信息情报就可能分析不透，就可能作出错误的判断，所以我要强调信息情报对于即将到来的整个社会变革的重要意义。信息情报工作做不好，即便科学研究工作的效率很[229]高，也会由于信息不灵，得不到好的社会效果。信息情报工作是我们今后一项重要工作。正是这个缘故，现在国外的信息情报受到高度重视，发展很快。在日本，有一个信息情报业，是一个新的产业，它的产值增长速度是最快的，比电子工业还要快。针对我国目前情况，这方面有许多工作要做。首先有一个基础差的问题，也就是我们的通讯传递系统太落后[5]，目前我们全国的电话机总数不过与香港一个地区的电话机数目相当。前几年对这个问题不重视，现在许多中央领导同志讲话中都提到这个问题，这非常好，如果没有这个基本建设，信息情报就无法传递。有的同志说，工业是硬的，信息情报是软的，也有称为硬产业、软产业的。我用另一种提法：第一产业是农业，第二产业是工业，第三产业是生产后勤和生活服务业，第四产业就是知识的积累、提取和使用，可称为精神财富的创造和使用产业。我们这些知识分子、科技人员都是产业大军的成员。

（二）应用系统工程与开展系统学的研究

这里我要强调的不是系统工程的重要性，而是如何考虑今后 60 年的大战略。这个大战略大致包括如下八个方面的内容：

一是物质文明的建设，生产物质财富。

二是精神文明的建设，创造精神财富。

三是服务于上述两个建设的后勤工作，不只是生活服务，还包括交通运输、通讯、能源供应等等。

四是行政管理。过去我们在这方面考虑得比较少，1984 年 12 月 6 日《经济日报》发表一篇文章，题目是《治国兴邦之学——行政管理学》，我很同意这篇文章的观点，并且认为要用系统工程的方法来研究行政管理，使它成为一门科学。行政管理有许多方面可以应用电子计算机，这就是所谓的办公自动化，这方面我们还差得很远。在我们社会主义国家里，行政管理完全可以科学化。在资本主义国家，资本家要捣鬼，捣鬼与科学是不相容的。我们不捣鬼，完全可以科学化。

五是法制建设，法制也要科学化。人类自从进入阶级社会以后，法制成了统治阶级压迫被统治阶级的工具。在中国的封建社会，皇帝的话就是金科玉律。在资本主义社会法就比较严密了，但资本主义国家在制订法的时候又专门留空子，好让资本家去钻。由此可见，资本主义国家的法是不严密的。彭真同志讲过，我们社会主义的法是最严密的，是真正为人民服务的，这样社会主义法制就有可能，也有必要变成一门科学。我曾经提过一个建议，要建立社会主义法制和法治的系

统工程[6]。

六是国际交往。这是个非常复杂的问题，不单纯是外交。现在的国际交往什么人都参加，有首相或总理、内阁成员、公司经理、学会代表等等，角色虽然不同，但都演一台戏。总的说来，资本主义国家与你交往的目的就是要赚你的钱。所以[230]说外事交往是很复杂的，机密性很强。这也是一个系统，也要运用系统工程的方法。

七是国家环境的管理。我们现在有个生态经济学学会，国家还设有城乡建设环境保护部，所要研究和解决的问题很多，空气污染、水流污染、噪音等等，实际上就是一个环境问题，这也是一个庞大的系统工程[7]。应该说这些方面的问题对我们来说比较容易解决，因为社会主义国家是一个统一体。

八是国防问题。马克思主义认为，只要帝国主义、资本主义存在，战争就不可避免，国防建设当然也是国家大事。

我想，大战略的这八个方面各有系统，又互相联系，形成一个整体，要研究这样一个复杂的整体，单靠系统工程就不够了，我们还要在技术科学和基础科学（系统学）方面下工夫。在系统学的研究方面已经取得了一些成果，如北京大学数学系的廖山涛教授搞了一个微分动力体系理论，北京师范大学副校长兼物理系主任方福康教授搞了一个非平衡系统理论，这两个理论都是系统学的一部分，并且是针对十分复杂的系统，我称之为巨系统。现在我们也有条件和可能发展系统科学中的基础科学——系统学，我国现在有许多同志从事这方面的研究，也有这样的学术单位。比如，去年航天工业部的信息控制研究所接受了国家体制改革委员会委托的一项任务，研究调整物价的可行性。这个研究所过去没有接触过经济问题，他们就向经济学家请教，到各部门去搜集大量资料数据，建立了若干方程式和数学模型，利用电子计算机经过反复运算，最终得出了经济学家满意的结果。这个报告得到了好评，它说明许多复杂问题用系统工程办法来分析是可以解决的。

（三）大力培养与提高人民的智力

要在21世纪中叶赶上当时的世界先进水平，对文化教育和人民智力的要求是非常高的，读书、有知识文化将不仅是知识分子的事，而是全体人民的事。工业生产将是高度知识密集型的，农业生产也将是高度知识密集型的，劳动者没有文化、没有科学技术就不能很好地劳动。再从现在世界先进国家人民教育水平不断提高的趋势来看，由普及小学教育到普及中学和中专教育，再进而扩大大专毕业生在人口中的比例，即到21世纪中叶，还有60年，那时人人要有大专文化水平，资本主义发展引起的城乡差别、工业和农业差别将要消灭，随之出现的将是体力劳动和脑力劳动差别的消灭。但我国目前还有2亿多文盲、半文盲，大家看电视

节目上的智力测验，大概感触也很多。比比现实状况和 60 年后的要求，大力培养与提高人民的智力的确是件头等大事。

我想这件大事可以分两步走：第一步到 2000 年，届时我们的干部文化水平都要是大学毕业的，第二步再用 30、50 年达到全民都是大学毕业的。为此，我绘制了一幅本世纪末我国教育事业的草图[8]。我设想每年小学入学学生和毕业学生[231]为 2000 万，在校小学生为 1.2 亿。小学毕业生有一半进三年制职业学校，每年1000 万，在校学生 3000 万。其他 1000 万进初级中学，在校初中生 3000 万。初中毕业生中的多一半，设 600 万进中等专科学校、职业中学和技工学校，三年毕业，在校学习学生为 1800 万。还有 400 万初中毕业生进高中，三年学习，在校学生 1200 万。每年有 400 万高中毕业生，其中多数约 300 万进大专，两年毕业，在校学生为 600 万。另有 100 万高中生进四年制大学，在校学生 400 万。这样全部在校学生共 2.2 亿，共需教师约 2200 万人。年教育经费约 1000 亿元，比目前增长 10 倍左右，而这笔账还没有计算现代社会发展所必须的成人再教育等。很显然教育在国家经济中将是一项与基本建设同等分量的开支，国家经济计划中的一些概念也要改变了。请经济学家们注意啊！

面临这样大的任务，我国现行教育体制是显然不适应的。好在党中央和国务院正抓这个问题，召开过多次会议讨论，我们相信关于教育体制的改革问题也会像十二届三中全会《决定》中讲的，“中央将专门讨论这方面的问题，并作出相应的决定”，而得到解决。

但从长远看，我认为我们还要研究教育科学的基础理论，总结古今中外的育人经验，结合近年兴起的行为科学，大大提高培养教育的效益，缩短达到一定目标的必须时间。例如国外已有倡议把小学入学年龄从 6 岁降到 4 岁。也有的从儿童心理学的研究结果提出幼儿教育的重要性，主张教育要从娃娃开始。如此等等都是大有可为的。从我自己和我的同学们的经历说，我认为中小学教育搞好了，两年制大学就能达到现在四年制大学的水平，而四年制大学可以达到现在的硕士水平。再加上提早入学，肯定可以节省几年时间！

而这还没有到顶，人脑还大有潜力，人的智力还大可发展。这是从现代人体科学和思维科学[9]的研究结果得出的认识：现在的人比起 100 万年前的人类祖先聪明多了，而这个进步还是自发的、不自觉的过程。今后用人体科学和思维科学，自觉地、能动地去开发人脑的潜力，人的聪明怎么会不大大提高呢？教育的过程怎么会不大大缩短呢？这将是又一场科学革命和又一场技术革命。

我以上讲的主题是展望我国未来 60 年的社会革命，我用的方法是系统科学方法，所以这次“新技术革命与系统工程讲习班”的课，用的副标题是“从系统科

学看我国今后 60 年的社会革命”。我作为一个自然科学、工程技术工作者谈点个人不成熟想法，向同志们请教！

本文是 1985 年 1 月 28 日在中国经济学团体联合会举办的“新技术革命与系统工程讲习班”的讲稿。原载《世界经济》1985 年第 4 期。[232]

参考文献

[1] 魏宏森：《系统论的产生及其意义》，《红旗》，1985 年第 4 期，第 24～28、31 页。

[2] T．S．库恩：《科学革命的结构》，上海科学技术出版社，1980 年。

[3] 邓力群、钱学森等：《经济理论与经济史论文集》，北京大学出版社，1982 年，第 11 页。

[4] 钱学森：《科技情报工作的科学技术》，《科技情报工作》，1983 年第 10 期，第 1～9 页。

[5] 叶培大、钟义信、沙斐、王永年：《通信技术与现代化建设》，《红旗》，1985 年第 4 期，第 34～37 页。

[6] 钱学森、吴世宦：《社会主义法制和法治与现代科学技术》，《法制建设》，1984 年第 3 期，第 6～13 页。

[7] 钱学森：《保护环境的工程技术——环境系统工程》，《环境保护》，1983 年第 6 期，第 2～4 页。

[8] 钱学森：《关于教育科学的基础理论》，《华东师范大学学报（教育科学版）》，1984 年第 4 期，第 1～6 页。

[9] 钱学森：《人天观、人体科学与人体学》，《大自然探索》，1983 年第 4 期，第 15～21 页。[233]

人口系统科学

于景元

一

地球上出现人类至今约一百多万年。到1830年，世界人口才达到10亿；1930年达到20亿；1960年为30亿；1974年为40亿；1987年达到50亿。可以看出，世界人口达到第一个10亿用了100多万年，以后每增加10亿人口所用的时间，依次为100年，30年，14年，13年。据统计，现在世界每分钟增加150人，每天增加22万人，每年增加8000万人。据联合国人口活动基金会的预测，1999年世界人口将达到60亿，2010年为70亿，2022年为80亿。以上数字表明，人口增长速度越来越快，人口数量急剧上升。

人口过快增长已给人类的生存和发展带来了许多严重问题，引起了世界各国普遍关注，成为当今世界性的紧迫问题之一。

随着人口的增长，要为更多人解决住宅、粮食、医疗、教育、就业等问题，必将更多地攫取自然界资源。然而，地球上的资源是有限的，她对人类的支付能力也是有限的，人口的增多，大大加重了地球负担，引起了一系列严重问题。例如，为了解决粮食问题，强化耕作，毁林开荒。目前，世界每年有43亩森林被砍伐，每年流失的土壤约230亿吨，有三分之一的耕地表土损失速度超过新土壤形成的速度。由于植被破坏，土壤退化和沙化的速度也在加快。人口增长和人类活动规模的扩大，使自然界中碳、氮和硫的化学成分也发生了变化。世界每年向大气释放的碳现已超过地球植被和海洋所能吸收的能力，结果大气中二氧化碳浓度增加，引起地球平均气温升高，全球气候变暖，冰川融化海平面升高，我们生活的生态环境发生了显著变化。一个现代工业化社会，为维持一个人的生活，每年要从地球的土壤岩石圈中消耗掉25吨各种物质。这些物质加工过程中产生的大量废渣、废水、废气以及使用后留下的废物，统统排泄给我们周围的生态环境系统。这个系统吸收和净化这些污染物的能力也是有限度的，结果破坏了生态系统平衡，形成对人类生存的更大威胁。[234]

1987年7月11日被定为世界“五十亿人口日”，这不是个令人愉快的日子。50亿人口是对人类发展的严重挑战。人类的繁衍导致了对人类自身的挑战，这似

乎有点悲剧性，但这毕竟是事实。现在的问题是，人类应当如何对付这种挑战？

世界人口的发展，基本上经历了三个阶段。①高出生、高死亡阶段。在人类发展的初期，对自然灾害和疾病的抵抗能力很低，结果造成死亡率很高。这个阶段的人口增长很慢。②高出生、低死亡阶段。由于科学技术的进步，生产力的发展，特别是卫生医疗技术的进步，使死亡率大大降低。这一阶段人口上升很快。③低出生、低死亡阶段。科学技术的进一步发展，经济更加发达，人民生活水平大大提高，生活方式发生很大变化，促使人们生育意愿也发生了变化——妇女宁愿少生甚至不生孩子，结果生育率显著下降。这一阶段，人口接近零增长，人口发展趋于稳定。目前，发达国家基本处在这个阶段上。然而，发达国家人口只占世界人口的四分之一，而发展中国家人口占了世界的四分之三。这些国家人口生育率是发达国家的三倍多，基本上处于高出生、低死亡阶段。人口基数大、年龄构成轻、生育潜力大是发展中国家人口的基本特点。再加上这些国家经济普遍不发达，人民生活水平比较低，经济发展速度低于人口增长速度。对这些国家来说，如果也像发达国家那样单纯依靠发展经济促使人口自然过渡到低出生、低死亡阶段，恐怕很难实现。即使实现也要经过相当长的时间，甚至有可能经济还没有发展上去，而人口却膨胀起来，造成社会经济发展的恶性循环。

对于发展中国家来说，真正有效的途径是控制人口增长、实行计划生育。通过人们自觉的行为来降低生育率，实现人口由高出生、低死亡向低出生、低死亡阶段的过渡，这就是控制过渡。很明显，控制过渡正是人类自己控制自己的表现，也是人类走向文明、走向自觉的标志。

中国是世界上最早进行人口控制实行计划生育的国家，并已取得了显著成效。中国的成功证明了通过正确人口政策，有意识、有目的地控制人口发展趋势是可能的，控制过渡是能够实现的。这在人类历史上具有重要意义。在当前，对发展中国家更具有现实意义。

从科学角度看，如何实行计划生育控制人口增长，以使人口与经济和生态环境协调发展，也是摆在科学家面前值得研究的重大课题。西方的人口统计学已有很长历史，它是研究人口自然过渡规律的一门科学，对研究人口控制问题，无疑有很多可以借鉴的地方。但是，人口在受控情况下，人口数量控制和人口质量控制问题，人口自身发展控制规律，人口与经济、人口与教育、人口与劳动就业、人口与资源、人口与医疗卫生、人口与生态环境、人口与地理、人口与民族等等都有许多新的问题需要研究。以便为制订人口政策和人口发展战略提供科学依据。

我国人口控制问题研究，老一代人口学家已作了许多开创性工作。特别是50[239]年代中期，以马寅初先生为代表的人口学家和经济学家，提出了控制人口

增长实行节制生育的主张和理论，对人口科学的发展作出了重大贡献。

在科学发展的历史中，人口学历来被认为是纯属于社会科学的。但近几十年来，情况有了很大变化。现代科学技术的成就，不仅为人类认识和改造客观世界，同时也为人类认识自身发展规律提供了大量新的事实和有力的工具。我们不仅可以从社会科学角度来研究人口问题，同时也可以从其他科学角度来研究它，例如自然科学和系统科学。定性研究和定量研究相结合，可以更深刻更全面地认识人口发展过程的客观规律，为实现人类自己控制自己的目标提供坚实的科学基础。

近些年来，我国著名科学家钱学森提出的系统科学体系结构，对研究人口问题是有指导意义的。系统科学由三个层次构成。处在应用层次上的是系统工程；处在技术科学层次上的是控制论、运筹学、信息论；处在基础科学层次上的则是正在建立的系统学。

系统科学的研究对象是系统。所谓系统是指由互相关联、互相制约、互相作用的各个部分组成的具有一定功能的总体。系统在自然界和人类社会包括人类自身是普遍存在的。有先于人类早已存在的自然系统（如生态系统），也有后来由人们自己制造的人造系统；有简单系统，也有如人类社会这样复杂的大系统，等等。

从系统观点来看，一个地区、一个国家甚至整个世界人口是一个系统。通常称作人口系统。这是一个社会系统，影响这个系统的因素很多也很复杂。它和社会制度、经济发展水平、资源利用、科学文化水平、卫生医疗水平、民族习惯、生态系统平衡等因素直接有关。但所有这些因素的影响，最终都将集中表现在时间、出生、死亡和迁移四个方面。这四者的数量变化以及它们之间的定量关系决定了人口系统状态的演化和系统行为的发展趋势。定量分析人口系统动态行为，研究如何通过调节和控制妇女生育率来改变和控制人口发展趋势，以使人口系统的繁衍过程朝着人们希望的方向发展，达到人类自己控制自己的目的，这就是人口系统科学所要研究的基本命题。系统科学和计算机技术为研究这个问题，提供了有力的理论基础和技术手段。

人口系统科学不同于人口统计学。如果说人口统计学的特点在于强调人口系统的定量“描述性”，那么，人口系统科学则注重人口系统的“控制性”的定量研究。前者适应于人口自然过渡的研究，后者则适应于人口控制过渡的研究。

70 年代初，美国的 D. R. Falkenburg、H. L. Langhaar，荷兰的 G. J. Olsder、H. Kwakernaak 以及日本的高桥安人等，开始应用控制论的方法研究人口问题。他们的工作虽然是个别的和初步的研究，但对于我们后来的研究工作却有很大[236]启发。

1978 年以来，宋健以及由他领导的一个研究小组，先后和西安交通大学、中

国科学院系统所、南开大学等单位的有关同志合作，在国家统计局、国家计生委、国家科委、公安部和一些省、市、自治区的支持下，对我国人口发展过程作了广泛深入的研究。在理论和应用上都取得了重大进展。在应用层次上建立了人口系统工程，在技术科学层次上建立了人口控制论，在基础科学层次上建立了人口分布参数系统理论。

目前，已有越来越多的自然科学、系统科学工作者进入了这个领域，并作了很多有意义的研究和应用工作。这标志着我国人口科学的研究越来越兴旺发达。

下面，就人口系统科学的研究和应用情况作些介绍，以供读者参考。

二

（一）人口系统的建模

人口系统的建模是人口系统科学的基础性工作。用数学模型描述人口发展过程，不仅已为各国人口学家所公认，同时也为实践所证明。本世纪 30 年代，Lotka 建立了定常人口的积分方程模型。到了 40 年代，Leslie 建立了差分方程模型。60 年代又出现了 vonFoerster 的偏微分方程模型。70 年代，Pollard 在 Leslie 模型的基础上，提出了随机模型。在这些模型的基础上，考虑到人口系统的反馈机制，明确区分状态变量、控制变量和观测量，建立适合人口系统控制的闭环控制模型，这还是最近几年的事。在这方面，我国控制论工作者作了许多有益的工作。

人口系统控制模型分为两类，一类是确定性模型，另一类是随机模型。如果按年龄和时间是连续量还是离散量，又可将人口模型分成连续模型和离散模型两种。人口系统确定性连续模型是用偏微分方程描述的带边界反馈控制的分布参数系统；而离散模型则是用差分方程描述的双线性系统。离散模型可由连续模型经离散化得到。

在决定人口发展的各种因素中，只有生育因素是可以控制的。如以婴儿绝对出生率为控制量，则是开环人口控制模型；如以妇女总和生育率为控制量便得到闭环人口控制模型。我国计划生育就是控制妇女总和生育率。例如，提倡一对夫妇只生一个孩子，即希望总和生育率为 1。

上述模型既可用来研究定常人口系统，也可用来研究非定常人口系统。特别是，我国学者给出了非定常人口模型的古典解和广义解，为非定常人口研究提供了理论基础。另一方面，从上述模型又可以容易地推出定常人口的 Lotka 积分方程，而对非定常人口，我们还得到一个新的类似于定常人口的 Lotka 积分方程。[237]这一事实表明，经典的 Lotka 积分方程是上述控制模型的简单特例，凡从 Lotka 积分方程能够得到的人口统计学中的结论，都可从控制模型中得到，但反

过来则不然。

对以上两种控制模型，我们曾用我国人口统计数据作过校核，结果表明，其近期精度在 1‰左右。

连续模型在理论分析中是很有用的，但不便于计算机计算和仿真。而离散模型则便于计算机使用。

我国地大人多，不同地区不同民族之间的人口状态差异很大。为了精确描述这种大范围内的人口发展过程，在上述控制模型的基础上，可以建立人口大系统模型。利用计算机和计算机网络，可使全国人口做到分级统计、预测、控制和统一协调管理，这就是人口系统工程。

如果把人口发展作为随机过程（或随机序列）来处理，便可建立人口系统随机控制模型。随机模型也有两种，一种是连续的，另一种是离散的。在这两种模型中，都包括着数学期望、方差以及相关函数的发展方程。而且，数学期望发展方程分别和确定性模型相一致。所不同的是确定性模型中各项参数是用比率定义的，而随机模型中则用概率定义。而这两者在实践当中是没有什么差别的。因此，如果用随机模型来作人口发展趋势预测的话，那么，所给出的数学期望预测与确定性模型预测的结果是一致的。所不同的是，随机模型还能给出数学期望预测的精度估计。这是随机模型的一个优点。

无论是确定性模型还是随机模型，都是研究同一人口发展过程的不同方法，各有各的特点，各有各的用处，彼此互相补充。

有的作者基于人口统计数据，利用辨识理论来建立人口系统模型和参数估计，这也是人口系统的一种建模方法。

（二）人口系统预测

人口发展的预测对制订人口政策、人口规划以及国民经济规划都是非常重要的。从系统动力学观点来看，人口系统是一个惯性很大的动态系统。系统的输出对输入的反应很慢。通常用时间常数来度量系统对输入的反应速度。一般工程系统的时间常数约在秒、分或小时的数量级上，但对人口系统，我们曾证明过，它的时间常数等于其平均期望寿命，约七、八十年的时间。这个特点的社会意义是：一种人口政策（它是人口系统的输入）对人口系统的影响，要经过很长时间才能显示出来。到了那个时候，如果时间证明政策错了，即使想要纠正它，也已为时过晚，不得不承担这一切后果的将是我们的子孙后代，而他们要想纠正这一错误还要付出更大的时间代价。今天我们不正在承受着 50 年代人口政策失误所造成的后果么？而且我们和我们的后代还要承受十年动乱时期“敞开生育”所造成的更[238]加严重的后果。根据预测，要想把我国人口从目前的 10 亿多恢复到 1964 年

的 7.2 亿，即使从现在起全国育龄妇女今后都只生一个孩子，那么至少也得需要 75 年的时间才能做到。如果允许每对夫妇生两个孩子，那只有到 200 年后才能做到。这个事实说明，对于像人口这样惯性很大的社会系统来说，预测具有特别重要的意义。这是人口系统不同于其他系统的一个显著特点。

有了人口系统的数学模型，只要给出初始年代的人口状态，合理地确定各项人口参数，在计算机上求解人口发展方程，就可求出今后任何一年（短期、中期、长期）的人口状态以及各项人口指数。这些人口数据是人口决策时的重要参考依据。

在作人口预测时，通常采用确定性离散模型，也可采用离散随机模型。但后者的计算量要比前者大。四川省曾用随机模型作过省、地、县三级人口预测。我们也用这个模型作过全国人口的预测。

模型确定后，人口系统参数处理得如何对预测具有重要影响。这些参数包括死亡率、妇女生育模式、女性比例函数、迁移模式以及初始人口年龄构成。在人口统计学中，已有一些很好的方法，用来平滑、外推这些参数。近年也有人把参数辨识技术应用到这些参数的处理上。

1982 年我国进行了第三次人口普查和 1%妇女生育率的抽样调查。利用这些可贵的原始数据，进一步精确地预测全国和地区的人口发展趋势，是一件很有意义的工作。

最近几年，有的作者还利用人口系统预测理论作了一些专业人口的预测，如教师学生系统和科技人才系统的预测等。有的则利用这一理论作了其他一些生物群体的发展预测。这些工作都是很有现实意义的。

（三）人口系统稳定性

人口系统是一个带有正反馈的动力学系统，因而存在着 Liapunov 意义下的稳定性问题。把 Liapunov 稳定性理论应用到人口系统，可以得到对人口控制来说具有重要意义的结果。

宋健等应用线性算子谱论和半群理论，首次证明了任一个临界妇女总和生育率。对连续人口模型，由下式确定

$$\beta_{cr} = \left[\int_0^{a_m} k(a)h(a)e^{-\int_0^a \mu(\xi)d\xi} da\right]^{-1}$$

其中 k（a）、h（a）、μ （a）d 分别为女性比例，生育模式和死亡率函数。

对离散人口模型，由下式给出：

$$\beta_{cl} = \left[\sum_{i=a_1}^{a_2} k_i h_i (1-\mu_{00})(1-\mu_0)\cdots(1-\mu_{i-1})\right]^{-1}$$

[239]

可以证明，β_{c1}是β_{cr}的一次近似。根据 1978 年人口统计数据计算，我国妇女临界总和生育率β_{cr}＝2.16。

临界总和生育率β_{cr}，与人口系统Liapunov稳定性有着密切关系，这可从以下证明了的事实看出[3]：

（1）如果人口系统的妇女实际生育率$\beta(t)$总大于临界生育率β_{cr}，即$\beta(t)>\beta_{cr}$，则人口系统是不稳定的。人口总数随时间增长越来越大，其渐近状态是$c_1e^{\lambda T}$，以指数规律上升。这相应于自然增长率λ大于零和妇女纯再生产率大于 1 的情况。

（2）如果实际生育率$\beta(t)$总小于临界生育率β_{cr}，即$\beta(t)<\beta_{cr}$，则人口系统是渐近稳定的，人口总数随时间增长而趋于零，并以指数规律$c_2e^{\lambda T}$下降。它相应于自然增长率λ小于零和妇女纯再生产率小于 1 的情况。

（3）如果$\beta(t)$总等于β_{cr}，即$\beta(t)=\beta_{cr}$，则人口系统是稳定的，但不渐近稳定。人口总数渐近状态是一常数。这相应于自然增长率为零和纯再生产率等于 1 的情况。这就是零增长人口发展过程。

从上述事实可以看出，如果一个国家或地区面临降低人口数量的任务（例如我国），那就必须把妇女总和生育率控制在它的临界生育率以下，否则是办不到的；反之，如果想增加人口数量，就必须使其大于临界生育率。如果想要人口总数保持为一常值，那就只须使其总和生育率等于临界生育率就可以了。但由于人口系统的惯性效应，并不能马上变为常值，须经过一段时间后，才渐近于常值。

我国解放 30 多年来，根据计划生育委员会 1‰。妇女生育率抽查数据计算，我国妇女实际生育率一直大于临界生育率，所以我国人口一直在增加，只不过近些年来增加得慢些罢了。直到 1981 年，我国妇女总和生育率β（1981）＝2.63，仍大于临界生育率。可见控制我国人口增长的任务还是很艰巨的。

近来也有人研究了非定常人口系统的稳定性问题，引进了上、下临界生育率的概念。还有人研究了以城、乡两个子系统为基础的人口大系统稳定性问题，讨论了城、乡人口流动对稳定性的影响。这些工作都是很有意义的。

（四）人口系统能观性和能控性

在人口系统模型中，所有各项人口指数都可作为系统观测量。这些量就是人口普查或抽查时能够得到的统计量。如果根据统计得到的观测量（例如$N(t)$），能够唯一地确定出某一年人口状态（年龄构成），这就是人口系统能观性问题。对连续模型就是分布参数系统的能观性；对离散模型就是双线性系统的能观性。究竟统计哪些量作为观测量，并使人口系统是能观测的，这是很值得研究的问题。因为在这种情况下，人口普查都可不做，起码可不必统计那么多项目，花费那么

大的代价。

当控制量（总和生育率）$\beta(t)$在一定范围内变化时，它对人口状态控制能力的[240]大小，就是人口系统能控性问题。能控性问题实质上是人口政策对人口发展的影响、改变和控制能力的定量描述。已经证明，对离散模型，如果$\beta(t)$在$[\beta_1, \beta_2]$内取值，则人口系统能控的充分必要条件是$\beta_1 < \beta_{cr} < \beta_2$。这里的$\beta_{cr}$就是妇女临界生育率。

（五）我国的人口目标

党中央已明确提出，20 世纪末要使我国总人口不超过 12 亿。如果这个目标实现了，那么，2000 年以后，我国人口又应向哪个方向发展呢？是继续下降，还是只要维持在 12 亿以内就行了？如果继续下降，那么，降低到什么时候，以及降低到什么样的水平上。

这个问题实质上联系到这样一个重要命题：从长远来看，在我国 960 万平方公里土地上和自然资源条件下，究竟养育多少人口为宜？这就是我国人口目标问题。这个问题不仅关系到现在，而且关系到我国未来。有人以为这是遥远的事，是我们后代的事。其实不然，正如前面指出的那样，人口系统是一个惯性很大的动态系统。要想把我国人口从一种状态改变到另一种状态，不是只需要几年，而是需要几十年甚至上百年才能奏效。因此，人口目标虽然是未来的事，但必须从现在做起，像接力赛跑一样，经过几代人的努力，才能把我国人口调整到合理状态上去。我们不仅要为我们的子孙后代留下宝贵的物质和精神财富，还应为他们创造一个合理的人口结构，使他们生活在幸福环境之中。

对于我国人口目标，人们议论纷纷。有的人说两亿人口为宜，也有的认为 5～6 亿最好，还有人说，我国地大物博，养育十五、六亿人口没有问题。其实，这个问题并不取决于人们的感情和意志，而应该根据我国的情况加以确定。

根据我国资源情况、社会经济发展水平、人民生活水平以及生态平衡等定量研究，胡保生、王浣尘等的研究结果和我们的研究结果，得到了相似的结论：在我国这块土地上，养育的总人口以不超过 7 亿为宜。这是一个上限，如果超过这个值，我国的自然条件和生态环境将很难承受过多人口所带来的持久压力。

这些研究仅仅是开始，还有许多问题需要进一步深入研究。最近，国务院批转了国家计划生育委员会关于制订全国人口区域规划的报告。按这个报告的要求，不仅要确定全国人口目标，还要确定省、市、自治区的人口目标。这是一件很有意义的工作。

（六）人口系统最优控制

如果以 7 亿人口作为我国人口长远目标，但现在已有 10 亿多人口，2000 年

将按近 12 亿，如何把我国人口从目前状态调整到并稳定在 7 亿水平上，这就是人口转换问题。完成这一转换的唯一方法是通过调节妇女生育率来实现。但如何确定这个调节规律呢？[241]

应用最优控制理论解决人口系统的最优转换问题，这无论在传统的人口学还：是人口统计学中，都是未曾解决过的命题。

现以离散模型为例，讨论人口系统的最优控制问题。

用N^*表示将来的人口目标，是一常值，对应于零增长人口过程。由N^*可唯一确定出相应的人口状态$x^*(t)$，这就是理想人口状态。我们希望控制妇女总和生育率$\beta(t)$，把人口系统从给定的初态x_0，在有限时间T内（T不是固定的）控制到理想状态$x^*(t)$。很明显，$\beta(t)$的取值不是任意的。设$U=[\beta_0, \beta_c]$是容许控制集合，考虑到人们社会心理因素以及人口系统能控性条件，应有$1\leq\beta_0<\beta_{cr}\leq\beta_c$。除了控制约束外，还应考虑到人口系统社会因素方面的限制，例如，在控制过程中，人口总数峰值不能太大，社会抚养指数不能过高，人口老化不能太严重等。所有这些限制实质上是对人口状态的约束。所有满足这些约束的人口状态集合用Q（t）表示。性能指标的选择不是唯一的，一种比较自然的选择是：

$$J=\sum_{t=0}^{T-1}(x(t)-x^*(t))^{\tau}(x(t)-x^*(t))$$

其中，$x(t)$是受控过程中的人口状态，τ 表示转置。

现在可以把人口系统最优控制问题完整叙述为：给定了人口目标N^*后，希望寻求最优妇女总和生育率$\beta^*(t)$，$t\in[0, T]$，$\beta^*(t)\in U$。在$\beta^*(t)$的控制下，使人口系统从初态x_0。转换到理想状态$x^*(t)$。在控制过程中，人口状态$x(t)\in Q(t)$，且使性能指标J取极小值。这样求出的$\beta^*(t)$，就是人口系统的最优控制，它也是人口发展的长、中、短期的最优规划。

宋健首先证明了上述的最优控制是存在的，而且得到了它所应满足的必要条件。随后，韩京清和宫锡芳分别用不同方法计算了我国妇女最优生育率。计算结果表明，从现在起用大约 100 多年的时间才能实现 7 亿人口目标。

有的作者以时间最短为性能指标，计算了山东省人口系统的最速控制规律。这也是很有意义的工作。

（七）人口指数精确计算的研究

在人口统计学和人口控制论中，经常使用如出生率、死亡率、平均寿命、妇女两代间隔、妇女纯再生产率等这样一些人口指数。它们定量地反映了人口过程社会性质方面的某一特点。例如，平均寿命的高低就是社会经济、医疗卫生水平的综合定量反映。

人口指数可以从人口普查和抽查中统计得到，也可按公式计算求得。只要知道了任一年的人口状态，就可求出该年所有各项人口指数。从数学观点来看，任何一项人口指数都是人口状态的一种泛函形式(线性或非线性的)。基于这种观点，宋健首次给出了定常人口系统的平均寿命、妇女两代间隔、妇女纯再生产率等[242]人口系统科学重要人口指数的精确表达形式，并把这些结果推广到了非定常人口系统。同时还证明了，人口统计学中的相应公式只是这些精确公式的一次近似。此外，还定义了一些新的人口指数，如人口系统时间常数等。

（八）人口分布参数系统理论

人口发展过程是个生灭过程。由人口发展过程所抽象出来的理论，许多结果是可以应用到一般生灭过程中去。特别是以偏微分方程描述的人口分布参数系统模型为基础，应用泛函分析理论和现代偏微分方程理论，建立了生灭过程的一般控制理论，它不仅适合于人口系统，也适合于具有同种类型模型的各种生灭过程，只是参数的物理意义不同，系统的物理机制不同而已。这些理论包括，定常和非定常人口发展方程理论，人口算子谱理论和稳定性理论，人口控制的极大值原理，人口系统近似能控性理论以及人口参数的敏感性理论等等。这些理论所揭示和概括的是一般生灭过程的规律，所以这些理论是属于基础科学层次。

三

上面我们介绍了人口系统科学所研究的几个基本的主要命题以及它在人口控制这个复杂问题中所起到的作用。但这决不意味着人口系统科学能够代替和决定其他人口学的研究。恰恰相反，只有当人口控制论和其他人口学的研究，如人口经济学、人口社会学、人口地理学、人口历史学、人口统计学、人口生态学、人口管理学等学科的研究相结合的时候，才能发挥它的重要作用。人口系统是典型的社会控制系统，在受控对象、控制方式和形式、信息传递和反馈形式等方面都不同于工程系统。这就要求我们在定量研究的同时，还必须注意研究人口系统社会行为方面的问题。例如，按人口控制论的研究，目前我国妇女生育率最好控制在 1～1．5。但在实现这个控制时却遇到很大困难（不是技术性问题，而是社会问题)。特别在农村困难就更大。如果不在政治、经济政策方面采取有力措施，那么，近期控制和长远规划就可能实现不了。问题就是如此复杂，何况我们谈到的只是人口数量的控制，还没涉及到另一个重要问题——人口质量控制。

但无论如何，人口系统科学的产生和发展，对我国的科学事业是一种促进。它突破了过去那种不能用自然科学方法研究社会问题的思想束缚。证明了定量研究方法对社会科学具有重要作用。走精密科学的道路，这已是现代科学发展的必

然趋势。这种科学方法已渗透到诸如经济学、军事学、管理学、心理学等各个方面。这种趋势不仅表明了人类科学思维的巨大进步，同时也标志着科学的发展已进入了马克思早已预言的自然科学和社会科学一体化阶段。

本文是在“人口控制论及其应用”(见《系统工程理论与实践》，1985 年第 1 期[243]一文的基础上稍加修改而成的。

参考文献

[1] 钱学森等：《论系统工程》，湖南科学技术出版社，1983。

[2] 宋健：《*Population Problems in the Context of Modern Science*》，New world press，1982，

[3] Song Jian（宋健），Tuan Chi-Hsien（段纪宪），and Yu Jingyuan（于景元）：《*Population Crvuntrol in Chitin*》，Praeger press，New York，1985。

[4] 宋健、于景元：《人口控制论》，科学出版社，1985。

[5] 宋健、于景元、朱广田、胡顺菊：《人口控制论方略》，人民教育出版社，1985。

[6] 宋健等：《人口预测和人口控制》，人民出版社，1982。

[7] 王浣尘：《人口系统工程》，上海交大出版社，1983。

[8] 蒋正华：《人口分析与规划》，陕西科技出版社，1984。
[244]

谈行为科学的体系

钱学森

以前我在谈到科学学时[1]，认为科学学中的一个重要部分是科学技术体系学，但当时我只认识到现代科学技术有三大部门：自然科学、社会科学和数学。到1982年我才比较完整地提到[2]现代科学技术有六大部门：自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学和人体科学；每一部门从基础理论到直接改造客观世界的技术，又分基础科学、技术科学、工程技术三个层次。但很快我又要纠正自己，在1982年7月于北京召开的系统论、信息论、控制论中的科学方法与哲学问题学术讨论会上，除以上六大部门之外又增加了两个大部门[3]，一是文艺理论[4]，一是军事科学[5]。现代科学技术已分为八大部门了。一增再增，几次更改的经验也教育了我，到1984年底我预见到不免还会有变动，所以在一篇短文[6]中预先声明：这八大部门的现代科学技术体系不能看成是不可变动的，事物是发展的，人的认识也是发展的。

果不其然，今年2月7日《经济日报》以一组短文报道了中国行为科学成立大会暨学术讨论会，大家提出了建设有中国特色的行为科学问题。能把行为科学纳入以前讲的八大部门中的一个部门吗？看来困难，都不那么合适。所以在5月中旬中国科协召开的交叉学科讨论会上，我说现代科学技术还要再加一个大部门：行为科学[7]。这引起了一些同志的兴趣，与我有书信来往，使我感到有责任把我现在的认识比较系统地讲出来，向同志们请教，所以写这篇短文。

一

什么叫中国特色的行为科学呢？同志们都讲，这就要求我们以马克思列宁主义毛泽东思想的立场、观点和方法去研究这门学问，所以我想在向国外介绍我们这一现代科学技术大部门时，不妨称之为马克思主义行为科学。开宗明义，免得误会；我们研究行为科学是在马克思主义哲学、辩证唯物主义指导下进行的。

辩证唯物主义告诉我们，物质的客观世界的存在是第一性的，人对客观世界反映的主观世界是第二性的，人只能通过实践，认识客观世界。人的心理、人的意[245]识都因此受社会影响。也因为客观世界第一，主观世界第二，社会发展变化反映到每一个人需要一个过程。所以只有当社会发展受到落后社会制度阻挠不

得前进，人们的心理和意识才会显得比社会发展先进。在我们社会主义先进社会制度下，是社会发展在前，个人心理、个人意识的发展进步在后。当然人与人也不完全一样，总有些人比较先进，也总有些人比较落后。但就全体人民讲，个人落后于社会发展是难免的。这在社会向前发展进步很快时，就显得很明显了。党的十一届三中全会以来，我们国家通过各项改革，大踏步前进了，人们的心理状态、人们的思想暂时跟不上，不是一个重要的社会矛盾吗？近年来文艺创作中集中反映的就是这个矛盾，以致青年文学家季红真同志在最近的一篇长文[8]中称之为“文明与愚昧的冲突”。但从以上的社会发展观点看，这种“冲突”是永远不会完全解决的，老的矛盾解决了，新的矛盾又会产生。这才是人类社会的进步。

但我们决不等待，我们不是机械唯物论者，我们是辩证唯物论者，当我们认识到个人心理，个人思想要落后于社会发展时，我们就可以能动地利用这一认识去采取措施，提高人民的觉悟，促使差距缩小；而且在矛盾产生时，尽量限制其不良后果。这就是认识个人行为与社会发展之间的矛盾运功，从而不断地去解决这个矛盾。我们的党和国家现在不正是这样做的吗？

这一思想应该是行为科学的核心思想，是行为科学的马克思主义哲学的概括。按我以前对现代科学技术其他八个大部门的说法，这个哲学概括就称为行为科学到马克思主义哲学核心的桥梁。这架桥梁也是一门学问，应该有个名字。可否称为“社会论”呢？社会论是研究个人心理、个人意识、个人思想与社会发展的矛盾运动的，社会论是行为科学到马克思主义哲学的桥梁。

也许有同志会问，社会论好像是历史唯物主义的一部分内容。是的，也可以这样说。例如不久前曾杰同志的一篇文章[9]是讲历史唯物主义这个社会科学到马克思主义哲学桥梁的，其结构内容就有人与社会的相互作用。但我认为，既然行为科学独立出来，作为现代科学技术的一个大部门了，历史唯物主义也就不必再包括社会论这部分内容，可以专门研究社会发展运动中的其他矛盾。

再有一点要说明。我们这里讲的社会论不是社会科学中的社会学，社会学是内容完全不同的一门学问。这不必多谈，大家当然明白。

也有人提出，能否把社会生物学（sociobiology）作为从行为科学到马克思主义哲学的桥梁？我认为这是不对的。

在上面我们已经讲过，人的行为与人的心理和人的意识有密切关系，而心理和意识是人大脑的最高层次活动，一直认为是人所特有的。一般生物有没有意识？现在还难肯定，而否定的论据倒是很多的[10]，所以，尽管在国外有人想以研究生物的所谓社会生活来推断人的社会生活，这将是徒劳的，因为他们又在犯几十[246]年前行为主义心理学的毛病，不承认人的意识的重要作用。

二

既然行为科学的目的是为了解决个人行为与社会发展之间的矛盾，那也就是要为了国家和集体的利益管好人。怎样管呢？有两个方面：一是诱导，或说开导、指导；二是诱导不成，必须绳之以法，才能限制其不良后果。这就是说在我们社会主义制度下，管理、伦理和法理三者是统一的，一个目的，两项措施。现在党中央一再强调，要有理想、有纪律，不也是这两个方面吗？这也就是广州中山大学夏书章教授在他的文集[11]中反复阐述的道理，书的“代序”中专门集中讲了这个观点。

按这个道理，全部法科学就纳入行为科学这个现代科学技术的大部门中了。这比我在不久前讲的观点[12]又前进了一步：那时我只是说从社会系统的观点看，法制建设是与行为科学密切相关的，要使用行为科学的成果。现在不只是密切相关，是结合在一起了。这样全部法科学的体系[13]就从社会科学移到行为科学。也很自然启示我们：行为科学有三个层次，基础科学、技术科学和工程技术，因为法科学就有这三个层次。在基础科学层次的有法理学、法制史学和法律思想史学；在技术科学层次的是各种专门法学（民法学、刑法学、国际法学、法医学、犯罪心理学等）；在工程技术层次的有各种专门法律、法规以及法制系统工程和法治系统工程。

在行为科学的另一方面，相对于法理学的基础科学是伦理学，它是行为科学的又一门基础科学。在技术科学层次的有我称作为马克思主义德育学[14]的一门学问，是思想政治工作的理论，但它本身又是以伦理学为基础的。至于思想政治工作本身，那属行为科学的工程技术层次，我是把它作为一项社会工程[14]看待的。工作的理论和工作本身有区别，不在同一层次。

从个人与社会的关系看，行为科学也要研究人才的问题。我曾提出过人才系统工程的问题[15]，那是组织管理人才的发现和使用问题，是实际工作，所以应该在行为科学的工程技术层次。人才工作的理论，人才学，当然属行为科学的技术科学层次了，这是因为人才是有道德品质的因素的，人才学要靠伦理学这门基础学科作指导。

资本主义国家的行为科学研究开始于20世纪30年代，其目的是发挥企业雇佣人员的积极性，后来就围绕这个目的，把行为科学逐步扩展到个人和团体的行为，以及组织行为和组织与外部环境相互作用的行为。这些其实也可以说是社会心理学，属行为科学的技术科学层次。至于应用社会心理学来具体管理人的工作，是管理技术，属行为科学的工程技术层次了。[247]

以上大致描绘出马克思主义行为科学体系的概貌。三个层次，一个桥梁（见图 1）。

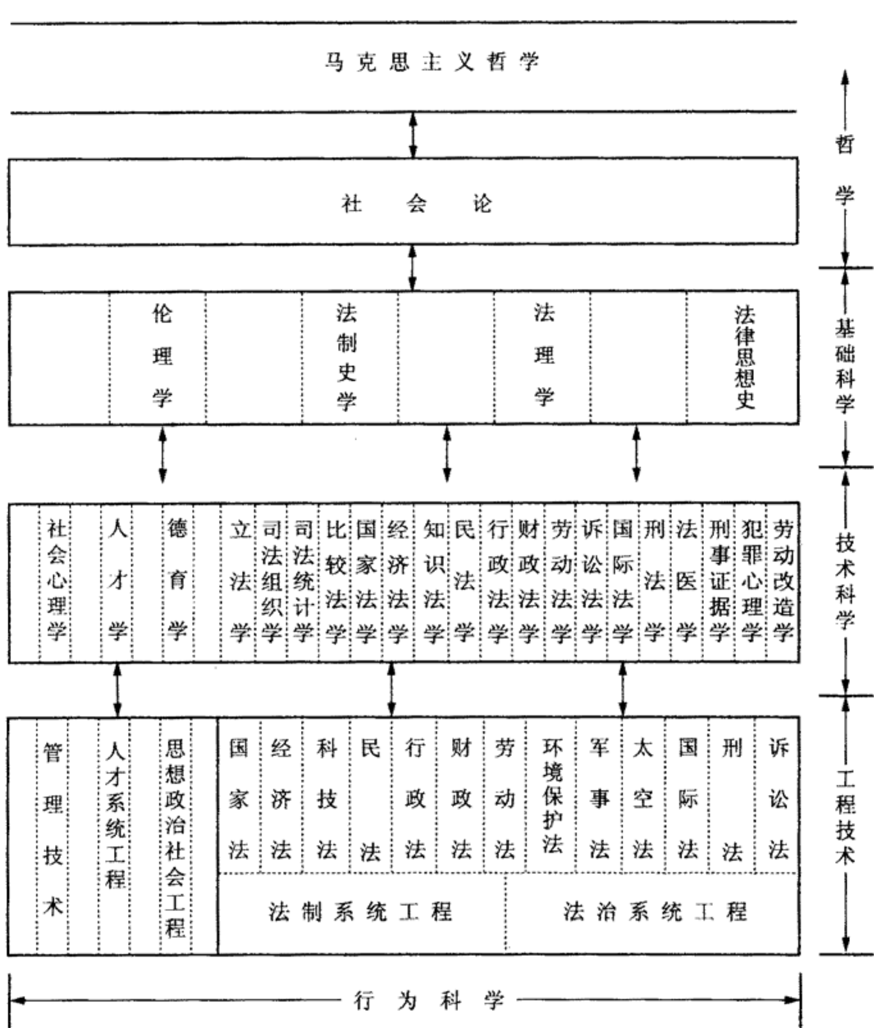


图 1　行为科学的体系

三

这种体系结构是同现代科学技术其他大部门，自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学、人体科学、军事科学一致的，都是三个层次，一个桥梁。文艺理论这一大部门有些不同，因为文艺的实践是艺术，不是科学。但文艺

理论[248]仍然有它的哲学概括，美学，作为这个部门到马克思主义哲学的桥梁。这种部门结构的一致性首先说明这样的现代科学技术结构是比较合理的，代表着不止一个或几个部门的结构，而是全部现代科学技术所共有的，是共性，是整体结构。

既是整体结构，那每个大部门就不能完全独立，有互相交叉。现在人们不是喜欢用交叉学科这个词吗？其实每一门学科都或多或少是交叉的：物理学要用数学，而不少数学的发展是由于物理学研究的需要而激发起来的；物理学与数学不是交叉了吗？在上述行为科学的体系中就有四门系统工程学问：法制系统工程、法治系统工程、思想政治社会工程、人才系统工程，这些都要用系统科学的方法，与系统科学这个大部门有交叉。而法制系统工程和法治系统工程又是各门法的工程技术的横断技术，是法科学的内部交叉学科。在行为科学的技术科学层次有一门社会心理学，还有一门犯罪心理学，它们都是以基础科学的心理学为理论指导的，而基础科学的心理学却在人体科学这一大部门中。人的行为也与思维有关系，所以行为科学与思维科学有交叉。还可以指出其他的交叉或学科之间的相互关系，这里就不再多说了。

从图 1 看，行为科学的法科学方面，学科门类多，十分茂盛，而思想政治方面显得单薄；这是因为法是有悠久历史的，特别在近几百年资本主义国家里，法制有了很大发展，我们可以吸收利用的东西比较丰富。与法科学相比，我们的思想政治工作、人才工作是在革命事业中创立的，历史比较短。就是资本主义国家的所谓行为科学，其全部历史大致也只有 40 年，我们可以吸取利用的也就那么一点。所以在行为科学的思想政治、理想教育等伦理学方面缺少学科理论，还有待于今后行为科学工作者的努力。但以上的情况是从学科的多少看，从工作人员的人数看，情况是要倒转过来的：法制法治方面人员少，而思想政治方面的人员多。这也是过去革命历史情况所造成的。

所以在行为科学领域内，我们面临的紧迫任务是：一方面要大量培养法学人才，另一方面要大力发展伦理学和思想政治工作理论，同时大大提高现有思想政治工作人员的科学素养。这都可以说是中国的政法院校的光荣任务，“政”是思想政治工作，“法”是法制与法治。今后的岁月里，要大大加强政法方面的教育工作。

总之，从社会主义物质文明和社会主义精神文明建设的需要看，具有中国特色的行为科学，马克思主义行为科学是必要的，是非常重要的，也是贯彻党中央有理想、有纪律的精神所必需的。所以在我们中国应该有一支上千万人的高水平的行为科学队伍，行为科学在中国的前途无量！

原载《哲学研究》1985 年第 8 期。[249]

参考文献

[1] 参见《科研管理》1980 年第 1 期，第 1～6 页。
[2] 参见《哲学研究》1982 年第 3 期，第 19～22 页。
[3] 参见《系统思想、系统科学和系统论》，见《系统理论中的科学方法与哲学问题》，清华大学出版社 1984 年版，第 4～29 页。
[4] 参见《技术美学丛刊》第 1 卷（1984 年），第 5～9 页。
[5] 参见《中国大百科全书军事卷通讯》1984 年第 27 期，第 4～7 页。
[6] 参见《马列主义教学研究》创刊号（1984 年），第 1～3 页。
[7] 参见《交叉科学：理论和研究的展望》，载《光明日报》1985 年 5 月 17 日。
[8] 参见《中国社会科学》1985 年第 3 期，第 9～34 页。
[9] 参见《求是学刊》1985 年第 3 期，第 17～21 页。
[10]RubinDunbar《*New Scientist*》，V01. 104，1984.10.18，p.37。
[11]参见《管理•伦理•法理》，法律出版社 1984 年版。
[12]参见《现代科学技术与法学和法制建设》，全国首次法制系统科学讨论会，北京，1985 年 4 月 26 日。
[13]参见《法制建设》1984 年第 3 期，第 6～13 页。
[14]参见《论系统工程》，湖南科学技术出版社 1982 年版，第 170 页。
[15]同上书，第 285 页。

[250]

把系统工程运用到我国对外贸易领域

钱学森

我对外贸工作了解不多，只是我觉得外贸工作非常复杂。越是复杂的东西，越是需要借助于现代科学的方法来解决。因此，我想能不能用系统工程的方法来解决我国外贸的问题。今天我讲一点自己的看法，错误的地方，请大家批评指正。

国际贸易不仅仅只是一个贸易问题，而是贸易、科学技术、人才、政治和外交的总和。因为，在我们的国际交往中，不管是什么人来访，也不管他们是以什么身份来访，只要他们是来自资本主义国家，他们总是代表垄断资本的利益，为垄断资本的利益服务的，总是要赚钱的。谈政治问题也是为赚钱服务的。当然，这里要指出，人民之间的交往是另外一回事，人民并不参加大公司、大财团的活动，这一点我们应当区别开来。我的一个美国朋友来访，一见面就说，“请你们注意，并不是所有的美国来访者都像我一样，那些公司代表来了以后，就是要想挖你们一块肉的”。所以，我们讲贸易、科学技术、人才、政治和外交是密不可分的，对于资本主义国家来说，尤为如此。我们作为一个马克思主义者，应当认清这一点。因此，贸易、科技、人才、政治和外交的总和，构成了我们同资本主义国家的国际交往，这要作为一个整体来看。用温和一些的词句来讲，现在我们同资本主义国家不打军事的热战，而是在打商业上的战争、打商战。我们对外讲国际贸易工程学，实际上就是打国际交往中的商战。我特别强调一个“战”字，不过这种战不是用枪炮来打的，而是用贸易、技术交往、人才交流等形式进行的一种战争。今天我不讲微观的，具体的问题，而只想讲一点宏观的，整体的问题。

宏观的就是指整个国际贸易交往。这当然要用系统工程来解决。系统工程就是专门处理复杂的、宏观的、大的系统问题的。所谓系统，就是不是单个的、一项的问题，而是许多相互作用的项目（或者部分）。宏观要搞好，整体要搞好，单看一个项目不行。有时一个项目看上去很好，但是从宏观来看，可能会是一个损失。系统工程就是解决这一问题的。一个系统内部有许多组成部分。根据系统工程的观点，系统内部各组成部分加在一起，并不等于整体，宏观的东西并不等于微观的简单相加。这一观点在马克思主义哲学中早就存在了。系统工程无非是把这一概念精确化，变成定量的关系。马克思主义哲学已有一百多年的历史，而把这[251]些观点变成定量的关系，倒是较近的事情，它萌芽于第二次世界大战期间，在战后才发展起来。所以，在国外有很多名称，有的把它叫做系统—工程，有的

则把它叫做系统分析，有的叫运筹学，还有的叫系统动力学。1978 年时，中国科学院许国志同志。 国防科委王寿云同志和我商量后认为，外国这些名称太乱，应当把它统一起来，可称之为“系统工程”。

系统工程是一项工程技术，工程技术是具体的事情，是改造客观世界，是改造客观世界某一部分的事情。比如，盖房有土木工程，治理河道有水利工程，造飞机有航空工程，造船有造船工程。系统工程就是要把系统的概念应用到组织管理。上来。组织管理，人们干了好多年，也做了不少事，有经验，但没有总结出什么学问来。现在我们认为，组织管理也可以总结出学问来，这个学问就是系统工程。系统的观点早就有了，人们早就知道局部的总和并不等于就是整体。整体大于局部的总和，只是最近十几年、二十年才把它具体化，上升到定量的关系。其他各项工程都有自己的理论基础和科学根据。比如，土木工程、水利工程、航空工程、造船工程等，都要运用力学，所以，力学就成为这些工程的理论基础。又比如，带电子的、电工的电力工程、电子工程，都要用电子学。电子学、电磁学又是它们的理论基础。现在外国把这些学问系统化，称之为工程科学或技术科学。在工程科，学、技术科学之后，还有更理论、更基础的东西，这就是物理、化学等基本学科。那么，系统工程是不是也有它的理论基础呢？我们认为还是有的。其基本理论有：①运筹学，讲系统工程中运用的基本方法；②控制论，讲系统工程中的控制问题；③信息理论，讲信息的传递、信息通道的设计等。这三大理论都是第二次大战以后发展起来的，构成了系统工程的三个重要组成部分。比运筹学、控制论、信息沦还要基础的是系统学。系统学是专门研究复杂的系统事物的；研究为什么复杂的整体不等于其组成部分的总和。因此，系统学是最基础的，然后是运筹学、控制论、信息论；最后，最实际、直接改造客观世界的是系统工程。整个这三个层次组成了系统科学。它跟自然科学是一大类。

研究国际贸易系统工程，其中，微观部分同其他工程技术有密切的关系，是国际贸易工程使用其他工程的技术知识，而宏观部分则不能从别的地方借鉴，应当由我们搞国际贸易工程的同志自己来研究。我建议把系统工程的理论、观点和方法，运用到国际贸易领域中来，创造国际贸易工程这门新的学问。这个问题不解决，我们的外贸工作就会很被动。国际贸易十分复杂，不能等问题发生了再去补救。所以，必须有预见性。如何才能有预见性呢？这就要依靠科学，就要有定量的分析。我们发射人造地球卫星，距离地球赤道表面 3.6 万公里，那么高的卫星，在发射前就知道它要进入的轨道，而且要在运行中控制它，使它最后能按计划顺利地落地。如果没有现代科学技术，走着瞧，先发射出去再说，那就完了，卫星早[252]不知飞到那儿去了，因此必须要有预见性。国际贸易十分复杂，比我

们搞卫星复杂得多，因此，假如我们现在还不利用现代科学，那就麻烦了，在座的同志比我们勇敢得多,我们搞卫星的同志可不敢这样干。有了科学的方法,我们就应当把它运用到我们国际贸易中来,当然,我也不能说系统工程运用以后,就什么问题都解决了。我也不敢打包票，因为，对于国际贸易这么复杂的问题，我们这门学问还不一定完全够用，但是，尽管不够用，但总是要用一点好，用比不用好。在用的过程中，必然会发现有不够的地方，不够不要紧，可以不断创造，不断补充。坚持搞下去，不但可以解决国际贸易中的一些问题，而且还会对系统工程科学的发展，对系统工程在其他领域的运用，作出贡献。所以，我觉得，把系统工程运用到国际贸易中来，全面地看问题，对于政治、外交、贸易等都有好处。

搞国际贸易系统工程，首先要有信息。信息情报十分重要，不知同志们是不是已经做了这方面的工作。外国公司、企业之间的关系，错综复杂，背后又有金融资本在控制，同他们打交道、做生意，不了解他们的底细，不清楚他们背后的关系不行。美国的信息情报工作十分厉害。我们应当认真加强这方面的工作，要把同我们打交道的外国公司的各种情况，包括他们的历史、现状、近期变化、国际国内联系等搞清楚，要利用现代的电子计算机技术把这些信息储存起来，要用的时候，电钮一按就可以查阅。这是我们搞研究工作的基本建设，非搞不行。

把系统工程运用到国际贸易领域中来，必须建立模型。所谓模型，就是把国际贸易中的各种关系，用数量的方式表示出来。建立模型，要靠过去的实践经验和数据。建立模型以后，就可以推测下一阶段的发展。模型可以复杂，也可以简单，但总要有模型。这里给大家介绍一个情况，大家知道，粮油收购与销售的价格倒挂问题，是我国长期未解决的问题。现在要改革价格体系，解决粮油价格倒挂问题，但究竟能不能改，改了以后会不会出乱子，反复讨论，一直下不了决心。前年底和去年初，我参加了有关讨论价格改革的会议。参加会议的都是多年从事经济工作的专家。会上，专家们根据自己的经验发表了很好的见解，但是大家似乎都觉得改革和调整粮油价格是个方向，但究竟行不行，没有定量的分析，心里没有底。后来，把定量分析的任务，作为一项系统工程交给了信息控制研究所。这个所的同志对经济根本不入门。为了完成这一任务，他们请来一些经济学家给他们上课，介绍情况，他们到处收集数据，根据经济学家们的意见建立了经济模型。这一经济模型十分复杂，有好几百个未知数，确实比较复杂，但是，现在我们有了电子计算机。用来计算这一经济模型的是一架每秒钟运转一百万次的电子计算机。在计算的过程中，研究所的同志根据经济学家们的意见，反复调整，反复计算，直到各项数据都基本符合实际情况，经济学家们满意了为止。最后，得出一个“五、六、七”的结论，就是说，如果我国经济增长中，农业达到每年递

增 5%、轻工业达到[253]6%、重工业达到 7%，那么，调整粮油价格，解决粮油价格问题就不会出乱子，相信国家的财政收入还会增加。这个结论是去年 8 月份搞出来的，当时国家正在讨论价格体系改革，他们的工作很有价值，为整个价格体系的改革作出了贡献。由此可见，不管什么问题，只要几个方面的同志结合起来，包括有实践经验的干部，大量的搞数据和懂系统工程的同志，只要这三个方面结合起来，不管问题有多复杂，都可以用系统工程的方法解决，都可以出成果。

其实，在研究数学理论、系统工程方面，我国大有人在，只是过去没有把他们的工作同经济管理结合起来，他们也只是把系统：工程作为自然科学的问题在研究。上次把系统工程理论同国家物价改革结合起来，解决了一个老大难问题。因此，我认为，既然我们有那么多有经验的外贸干部，再加上一些掌握系统工程技术的同志，国际贸易中的问题也是可以解决的。

国际贸易工程是商战，是一种特殊的战争。作为战争，就有战争的特点。一方采取措施，另一方也会采取相应的应变措施；这一方又必须根据对方的变化进行新的调整，这确实比较复杂。但是这也不是不能解决的，我们可以用处理军事战争的现代化方法来解决。军事科学是解决军事战争问题的科学，在我们国家具有悠久的历史，《孙子兵法》是世界上最早的、专门论述军事科学的著作。随着科学技术的发展，军事学术中也采用了现代化的技术，老同志们都知道，原来打仗搞沙盘模拟，现在电子计算机代替了沙盘，搞电子计算机模拟作战。最近十几年来，电子计算机模拟作战发展很快，也很普遍，因为现在武器的功能越来越复杂，用老的思想、老的办法来对付新的战争不行了。现在我们可以用电子计算机制订很多方案进行模拟，最后选择最佳方案。搞模拟作战也需要许多精确的理论和许多半理论、半经验的方法。既然真刀真枪的战争可以搞模拟，我们商战为什么就不可以搞模拟呢？我们为什么不可以把军事科学上的先进技术，运用到国际贸易中来呢？

另外，现在军事科学还有一种新的技术，叫做自动化指挥系统。从信息的收集处理，作战方案的制订到指挥员作出决定，指挥战争一整套东西，都由电子计算机进行。当然，说自动化指挥并不是不要指挥员，主要是原来参谋做的那些工作，改由电子计算机去做了，所以，我认为，把它叫做自动化指挥系统不尽合适，建议叫做电子化的作战指挥系统。我认为，这一科学对我们国际贸易系统工程具有参考价值。信息控制研究所力量比较强大，可以作为我们搞国际贸易系统工程的咨询机构。

本文是1985年3月在中国国际贸易学会关于国际贸易系统工程学讨论会上的讲话。原载《对外经贸研究》1985 年第 10 期。[254]

研究社会主义建设的大战略，创立社会主义现代化建设的科学

钱学森

一、什么叫“大战略”

我的理解是：所谓大战略就是国家整体的规划、计划的一个总的设想，特别是研究我们应该重点抓什么。现在，党中央已经明确今后直到21世纪中叶的路线、方针、政策，即：对内搞活，对外开放，独立自主，和平共处，还有一国两制；第一阶段到2000年工农业总产值要比1980年翻两番；第二阶段到21世纪再用20年的时间，到2021年建党100周年，把我国建成为社会主义的具有中等发达水平的国家；第三阶段再用30年时间，或说2049年，到我们建国100周年的时候，达到世界的先进水平。这就是中央已经明确的，一直到21世纪中叶的路线、方针，政策。所以，所谓社会主义建设的大战略，就是实现中央这个决策的战略，是总的而不是局部的、部门的战略。所以这里讲的就是要强调整体性、全局性和系统性。

二、社会形态与社会革命

首先当然要强调用马克思列宁主义的观点，用马克思主义哲学的观点考虑大战略的问题。所以第一个要讲的问题就是社会形态与社会革命。社会形态的学说是马克思主义的一个创造。在黑龙江出版的《求是学刊》去年第六期上，张奎良同志有一篇文章[1]里面谈到，社会形态是对一定历史时期的经济制度、政治制度和思想文化体系的总称，它是一定的生产力水平的生产力和生产关系与经济基础和上层建筑的具体的、历史的统一。既然如此，我把人认识客观世界的飞跃叫做科学革命，人改造客观世界技术的飞跃叫技术革命，那么，科学革命和技术革命相对于社会形态而言，还属于基础性质的东西，而不是社会形态本身的问题。因为，认识客观世界和改造客观世界的技术还都属于生产力这个范畴。那么，社会形态[255]和社会革命的关系是：社会形态的飞跃才是社会革命。

社会形态这个概念，又可分为三个方面来看。

第一，从经济的方面来看就是经济的社会形态。关于这个问题党校出版的《理论月刊》1984 年第八期上有一篇卢俊忠同志的文章[2]讲这个问题。在马克思《资本论》第一卷原序中，德文是明明白白地讲厂“经济的社会形态”。“社会形态”，的德语是“gesellschaftsformation”，“经济的”德语是“ökonomische”。马克思用的是“ökonomische gesellschaftsformation”，所以就是“经济的社会形态”。但是后来译成俄文时就出了乱子了，变成了“社会经济的形态”。这样，在译成中文时就产生了分歧，现在的《马克思恩格斯全集》第 23 卷里译成了六个字，很含糊，叫“社会经济形态”。老版的《资本论》，原来郭大力同志、王亚南同志的译本，倒是基本正确的，用的是“经济社会形态”。现在，这个概念应恢复马克思本来的意思，是从经济的方面来看社会形态；不是什么社会的经济形态。经济的社会形态可以出现飞跃，也就是急剧的变化，这就产生革命。经济的社会形态的飞跃就是产业革命。

刚才引了张奎良同志对社会形态的定义，他说有经济和经济制度这方面的社会形态，即经济的社会形态，还有政治制度方面的，那么，那就是政治的社会形态，政治的社会形态的飞跃就是政治革命。社会形态的另外一个组成部分是思想文化体系，我想可以把它们叫做意识的社会形态。意识的社会形态的飞跃我觉得可以叫做文化革命，这当然不是我们以前说的“文化大革命”了。产业革命、政治革命和文化革命都是社会形态的飞跃，都是社会革命。我觉得这样来看问题现在有一些概念就可以澄清了。譬如，邓小平同志多次讲我们现在进行的这场改革是一场革命，去年 12 月 31 日《世界经济导报》有一个报道，中间引了胡耀邦同志一句话，他说“改革是一场深刻的社会革命”。如果不用刚才所说的概念，小平同志、耀邦同志的这些话就不好理解。还有，我们现在也称苏联为社会主义国家，这是因为苏联的政治的社会形态是社会主义的，也就是国体是社会主义的，但是苏联还侵略阿富汗，它的社会形态又不完全是社会主义的。这也说明我们把社会形态从三个侧面来考察是有必要的，我们需要区别整个社会的飞跃的变化。

用这样的观点来看产业革命，来考察革命和我们现在社会主义建设的关系，就要问，在人类历史上有过多少次产业革命呢？我认为第一次产业革命是人摆脱了从自然界搜集食品，或者采集，或是打猎，而转入到农牧业生产。这大概是 1 万年以前的事了。第二次产业革命是商品生产的出现，即人不光为自己个人的消费而生产，还为交换而生产。这大概出现在 3000 年以前，还处于奴隶社会。我认为经典著作中讲的，也是我们大家习惯讲的产业革命是第三次产、业革命，那是 18 世纪末在英国开始的，由大工业生产引起。在 19 世纪末 20 世纪[256]初，也就是列宁的《帝国主义是资本主义的最高阶段》书中描述的情况，生产变成国际的

规模了，这是第四次产业革命，当前，20 世纪 80 年代的信息社会确实在引起一场新的产业革命，那就是第五次产业革命。我预计到 21 世纪还会有一次产业革命，那就是把农业、林业，包括牧业这些利用阳光来生产的行业，变成高度知识密集型的产业。这将引起很大的变化，可以作为第六次产业革命。这样，我从“经济的社会形态的飞跃是产业革命”这个概念出发，得出产业革命在人类历史上已经出现和将要可能出现的次数也许就是这六次。当然也不会限于六次产业革命，发展是没有止境。

以上讲的是世界的情况，那么，我们中国又是怎样一个情况呢？对中国来说，第一次产业革命和第二次产业革命在我们历史上也是那样的，但是后来由于我们有长期的封建社会．然后又是 100 多年的半封建半殖民地的社会，所以，第三次产业革命在我们国家推迟了，我们国家真正的第三次产业革命，工业化大生产，恐怕是建国初年才开始的。英国在 18 世纪末就开始搞的产业革命，我们搞晚了，而且中间还有曲折。所以，现在到了 20 世纪 80 年代，我们要把第四次产业革命、第五次产业革命一起来抓，还要为第六次产业革命做准备。如果说是从现在到 21 世纪，那就是第四、第五、第六次产业革命一起抓了，就要通盘地考察。所以，大约一直到建国 100 周年，21 世纪中叶，我国社会主义建设的任务就是贯彻执行党中央的方针、路线和政策，继续改革完善我们的社会主义政治制度，而且要进行第四、第五、第六次产业革命。也就是说在这段时间中，我们要完成的第一个任务是改革完善我们的社会主义政治制度；第二个任务就是要进行第四、第五、第六次产业革命；第三个任务就是要极大地提高我们社会主义的物质文明和精神文明。假如我们完成了这三项任务，那时我们才能说我们真正进入了高水平的社会主义社会形态了。

三、展望 21 世纪的世界

我们建设社会主义的大战略要考虑到建党 100 周年和建国 100 周年，所以要展望 21 世纪的世界。这就首先要知道，世界的今天。

今天的世界是个什么样子？在这个问题上，我以为可以从战争与和平的问题讲起。大家可以参看《解放军报》今年 8 月 6 日一版彭迪同志的文章“。彭迪同志讲的一个重要观点是：核武器的发展在改变着人们关于战争问题的许多传统概念。在人类自原始公社进步到阶级社会以来，战争就没有断过。著名的德国军事理论家克劳塞维茨指出，“战争是政治通过另一种手段的继续”。这是很委婉的说法，说白了，一切统治阶级发动的战争都是为了打胜了可以取得他用和平手段不[257]能取得的物质财富或创造物质财富的人力、物力，这种战争就是掠夺，是占

有。但自从 40 年前科学技术的进步创造出核弹（原子弹、氢弹），破坏力成亿倍地增长。现在两个对峙着的超级大国，苏联和美国，各自部拥有 1 万到两万个核弹头和核弹。每一方都可以不但摧毁对方的一切物质财富和大部分创造物质财富的人力物力，而且可以摧毁几遍，不止一遍；也能摧毁他们俩之外的一切世界！这就是说，发动核大战的任何一方所能得到的不是什么物质财富或创造物质财富的人力物力，而是一无所获，连门己的—切也摧毁了。这不是从根本上否定了传统概念的战争了吗？

不打核大战，另一种战争，帝国上义者向不发达国家发动的侵略战争呢？这类战争有出路吗？试看历史，从过去可以知道现在，从现在可以知道将来嘛。中国 20 世纪 40 年代在中国共产党领导发动的人民战争取得了抗日战争的胜利；又在 50 年代初抗美援朝，同英雄的朝鲜人民一起，打败了美帝国主义；60 年代越南人民打败了美帝国主义的侵越战争。这都是人民战争和反侵略战争的辉煌战果。现在还在进行的柬埔寨三方爱国力量的反越侵略战争和阿富汗人民反苏侵略战争也必将以侵略者的彻底失败而告终。所以本世纪以来的历史已宣告了发动侵略战争者必然要在被侵略国家发动的人民战争面前失败。所以侵略不发达国家的战争也不是出路。

至于第三世界国家，他们要建设自己的国家，当然要和平，不要战争。

这不是事实迫使人们改变战争的传统概念吗？

再就武器装备与军事设施费用的增长速度来看，两个超级大国也有难以为继的忧虑。美国每年的军费已将突破 3000 亿美元，苏联也不相上下，两国军费开支已在国民生产总值的 10%以上至 20%。我曾估算，由于现代化装备的技术要求很高，其单价比起第二次世界大战结束时同类装备的单价往往上涨了 100 多倍；其中当然有通货膨胀的因素，但国民生产总值要 40 年长 100 倍，年增长率就得是 12.2%，而实际不论苏联还是美国都远未达到这样的增长率。因此军备竞赛对两国国家财政的压力已越来越难以承受，也都想把步调放慢一些。所以苏联和美国的控制军备的谈判，虽然矛盾很大，难有突破性的成果，但还是断断续续地谈判下去，谈比不谈更有利。

另一方面，世界各国人民反对战争的呼声越来越高。第三世界各国急需建设自己的国家，需要和平环境，当然反对战争。这就占了世界人口的 3／4。第二世界国家也不希望战争，争取和平。就是两个超级大国的人民也是不要打仗的。因此总起来看，世界上虽仍然有战争的因素，决不能忽视，但和平的因素的增长超过了战争的因素的增长。在国际竞争中，战争这一古老手段究竟还能用多久，已是一个需要认真研究的问题了。[258]

正是在这种情况下，各先进国家都在想新的出路，在研究如何才能在 21 世纪的世界上立于不败之地。第一个在此做出明确表示的是日本。在 1981 年 10 月的一次在日本开的国际性电子计算机会议上，门奉宣布要搞所谓第五代计算机，“新—代汁算机”，具有人脑智能的电子仪器。实际上是把电子计算机从计算机上升到智能机，从汁算到智能。如果实现了，的确是科学技术发展中的一次飞跃，就如 18 世纪末到 19 世纪初的机械化，20 世纪初出现的自动化飞跃一样。从机械化到自动化，对生产力发展的作刚大家很清楚。而现在计算机对生产力发展的作用大家也是清楚的，那么智能机的出现将使生产力的发展在今天先进水平的基础上再跨一大步，达到一个全新的水平。日本是说了就做的，从 1982 年 4 月就组成研制第五代计算机的力量，在去年 10 月在东京又开了一次国际性计算机会议，宣布了三年来的工作成果和进一步工作的计划。日本的这一创新，不在于智能机的技术基础，即所谓人工智能的先进，实际上日本并不先进，而在于指出技术发展的新方向——智能机。所以尽管在四年前世界对此反映并不强烈，而到去年的会议上，已成为世界所瞩目的科技界大事了。这还不是日本突出“高技术”的全部，还有其他项目，如生物工程等。这就是日本提出的口号：“科技立国”。

1983 年 3 月 23 日美国总统里根向美国全国宣布了所谓“战略防御倡议”，美国的新闻记者们同里根开玩笑，把它庸俗化了，用了一部电影影片的名字，“星球大战”，称之为里根的星球大战计划。这个倡议是要花近 20 年时间研制，搞出一套武器系统，能把苏联在一次核大战向美国发射的近万枚核弹头，全部打掉，战斗只有几分钟到半小时。用什么手段呢？用人造卫星，地面激光发射站，天上的反射镜，天上的 X 激光发射站，天上的粒子束发射站，打进入大气层核弹头的、由地面发射的撞击式弹，和电子化侦察指挥系统等。这是军备竞赛的又一次升级，只研制阶段就要花几百亿美元，更不要说部署这个庞大的全球性武器系统。美国国内也有不少人反对，说苏联有那么多核弹头，就是你里根的战略防御体系能 99%有效，但漏进 1%，美国也就完了。但里根和美国政府美国议会还是在执行这个计划，似乎不顾一切地在干下去。所以国际上许多评论家都认为美国的这个计划，是“一箭多雕”的策略，既可以用来与苏联争夺军事优势，又能刺激国内高技术的发展，而高技术的发展又为美国在 21 世纪争霸世界奠定基础。而这后一点又是“科技立国论”。

美国是善于利用外国科技力量为他自己服务的。在 40 年代初搞原子弹的口寸候就用了英国的科学家，但这些“客卿”也知道，核心的东西他们是不能过问的。有了这个教训，这次美国又动员西欧各国科技界来参加他的“星球大战计划”，反应就不那么积极。法国总统密特朗抓住这个情况，在今年 4 月 19 日由法国大使向

英国外交大臣提出：西欧各国联合起来，自己搞高技术的和平利用，开发新的材[259]料、微电子技术、超大规模集成电路、激光技术、粒子束技术、人工智能、巨型计算机和生物工程等；并名之为“尤里卡”（与希腊语“有办法了”谐音）计划。现在西欧各国已同意搞“尤里卡”计划，今后要制订具体工作计划。其实西欧国家前几年已发现科学技术落后的危险，也知道限于国力，每个国家单独搞技术困难很多，所以已经开始了国际合作搞科研，如在英国建了西欧联合热核聚变反应器等。这次是受了日本和美国的冲击，扩大和加强这种高技术开发的国际合作。

至于苏联，国际观察家们也指出：在与美争霸中，过去更多地放在地区争夺，抢地盘上；现在则把重点放在经济、科技和军事的实力较量上。当然，经济和军事的实力基础在于科学技术，所以苏联也走到以科技争霸于世界这条道路上来了。

从以上谈到的情况可以看出，当今世界发展的趋势是：打热战，特别是打核大战作为国际争夺的手段越来越受限制，和平的力量在增长，而科学技术的重要性越来越突出，因此在下个世纪是“科技立国”的世纪。不是动武的热战，是动“文”的“科技战”。科技发展要靠人，人的智力，所以 21 世纪又是“智力战”的世纪。这个思想应该是我们研究如何完成我国社会主义现代化建设，也就是研究社会主义建设大战略的一个出发点。

四、认识客观世界改造客观世界

为什么说“科技战”、“智力战”只是研究大战略问题的出发点，而不是问题的核心和归宿呢？原因是这种提法还没有概括到马克思列宁主义的高度，没有用马克思主义哲学来看问题。所谓科学技术的能力，所谓智力，其实就是按照我们的主观能动性去改造客观世界。但能否成功，又依赖于我们是否正确地认识了客观世界自身的规律性。认识了，才能利用客观世界的规律去按我们的愿望改造它。不认识，认识得不正确，就不能成功；认识得不全面，只部分正确，也不能完全成功；这都是教训。要总结经验，提高我们的认识。所以说 21 世纪立国之本是“科技战”和“智力战”是不够明确的，也不够全面，应该说在下一个世纪，由于人类历史已经发展到国际间竞赛空前尖锐的阶段，一个国家要能在世界上站得住，就必须使它的人民、全民的集体，有高度的对客观世界的正确认识，从而具有高度的、以自己的主观能动性去改造客观世界的能力。换句话说，要在 21 世纪的世界上建设社会主义的强大国家，只靠正确的主观愿望，充沛的工作力量和不懈的努力和劳动是不够的了；这些优良品质都是必要的，但还要有最重要的——项：认识客观世界、改造客观世界的学问。[260]

科学技术是不是认识客观世界改造客观世界的学问？当然是．但认识客观世界、改造客观世界的学问远不止于科学技术。恩格斯在 100 多年前写过这样一段活描述共产党人的理想：“人们自己的社会行动的规律，这些直到现在都如同异己的、统治着人们的自然规律一样而与人们相对立的规律，那时就将被人们熟练地运田起来，因而将服从他们的统治。人们自己的社会结合一直是作为自然界和历史强加于他们的东西而同他们相对立的，现在则变成他们自己的自由行动了。一直统治着历史的客观的异己力量，现在处于人们自己的控制之下了。只是从这时起，人们才完全自觉地自己创造自己的历史；只是从这时起，由人们使之起作用的社会原因才在主要方面和日益增长的程度上达到他们所预期的结果。这是人类从必然王国进入自由王国的飞跃。”[4]我们现在已经有可能走向这个自由王国，因为我们有马克思列宁主义的正确指导，有了 100 多年全部科学技术（不只是自然科学和工程技术，不只是那么多少项新的技术革命）的高速发展的千硕成果。如果现在我们想的还局限于十几项新技术，那我们就要犯目光短浅的错误。

五、建立一类建设和管理国家的科学

现在我再把问题深入地讲下去。我要讲的第一点是，我们在解决社会主义现代化建设中的问题的时候，能不能、要不要用自然科学方法，特别是定量的数学方法？我以前曾经建议过：社会科学要从社会科学走到社会技术，就是像自然科学走到工程技术一样。应用社会科学，要像工程师设计一个新的建筑一样，科学地设计和改造我们的客观世界。

所谓自然科学的方法，一个很重要的部分，就是数学的方法。在自然科学中，在工程技术中，运用数学的方法，是一件很平常的事情。尽管这些数学方法中，常常语言很深奥，公式也是怪吓人的，似乎有点神奇，其实这只是它的面貌而已。数学，归根结底也无非是高级的掰手指头，数一、二、三、四，当然它是经过了多年的发展，有一套很巧妙的方法。数学用来解决问题，只是一种工具。换句话说，假使你认识某个问题认识错了，它不能把错误的变成正确的；假使你认识某个问题是认识对的，它也同样不会把正确的变成错误的。它无非是一个方法，一种帮助我们分析问题思考问题的工具。在运用数学工具的时候，这一点一定要弄清楚。

但数学又是一个很强有力的工具，非常有用的工具。强有力、非常有用是什么意思呢？意思就是能够帮助你很快地有效地解决非常复杂的问题。人光凭脑子去想，问题搞得很复杂以后，就不太好办了。但数学不怕复杂，非常复杂的问题一样能有办法处理。这是第二点。

第三点，数学方法可以提高效率。掰手指头能不能算呢？简单的问题当然可以[261]算。大家知道微积分吧？积分就等于把一条曲线画出来，求曲线和坐标轴之间的面积。就这件事，我给大家讲一个故事。在国外，有一位很出名的科学家，得过诺贝尔奖金。有个时候，他碰到一个积分的问题。大概他的数学不是太高明，所以把他给憋住了，他积不出来。怎么办呢？他倒是想通了，所谓积分，无非就是求面积。所以，他干脆把这曲线在方格纸上画出来，然后用数数的办法（就是数方格），看有多少方格。就这样，硬是把这个积分算了出来。这个故事说明，高深的数学无非是一个工具。把你憋急了，你没有这个工具，或者没用上，掰手指头算也可以。但另一方面，也说明数学确实是很有效的。像刚才那个笨办法，既要画曲线，又要数方格，不知要数几个钟头。假使知道这个积分，一积就出来了，一分钟就可以解决问题。所以，这就说明：①数学是一种工具，并不神秘。②确实是一个有效的工具。我想既然如此，那么，在我们的社会科学中，运用数学的方法有什么神秘呢？社会科学所要解决的问题，有些是非常复杂的，完全凭脑子想，就很困难。我们需要一个工具，这就是数学，一种科学定量分析问题的方法。

我常常听同志们说这样一句话，就是自然科学可以在实验室里做实验，在控制的条件下做实验，我们社会科学则不能。社会科学是整个社会的现象，是不能做实验的。好像这一点自然科学和社会科学有所不同。确是有所不同，但这仅仅是一部分。比如说，自然科学里的天文学，也不好做实验。太阳离我们万万公里，你怎么做实验？只有靠观测。天文学是这样，地学怎么样呢？地球恐怕也没办法做实验。那么大的地球怎样做？所以，也并不是说，所有的自然科学技术里面的问题都可以做实验。

在早期的科学研究中，实验就是在严格的控制条件下进行的测量。比如研究气体定律，测定气体定律中的温度、压力、体积三个参数间的关系。在 18、19 世纪的时候，往往是要把一个量定住，不让它变。比如温度不变，然后来研究压力和体积的关系。等这个关系摸到了，再用另外一个温度值，去重复这样的实验，又得到一个压力和体积的关系。三个量中，固定其中的一个，这就称实验室的控制。当然也可以固定压力或体积（容积），来找温度和体积或压力的关系。今天来研究气体定律就不同了。我们可以选择一定量的气体，变化其中的两个参数，测量第三个参数，并不需要把一个固定住。测定一系列的数据，经过数学的分析处理，就可以得出很精确的规律来。同样，在社会的现象中，也有表征社会现象的许许多多参数，当然是很复杂的。你要把每一个参数测出来，然后再分析它们相互间的效果。你得到的当然是很复杂的一堆数据，但也是可以用数学方法来处理的数据。当然处理的方法要复杂一些，甚至于要用电子计算机。但总还是有办法

的，并不是没有办法。这说明了什么呢？这说明，虽然社会科学不能像自然科学那样，做各种各样的实验，但也没有把现代人难住。我们可[262]以像在自然科学中那样，用现代科学的方法来处理、研究社会科学的问题，其中包括定量的数学分析的方法。

在这里，我讲一点历史。

我们现在的电流强度单位叫安培，是为纪念 19 世纪法国科学家安培(A.M.Ampère）的，他对自然科学做过很大的贡献。1845 年，他发表了一篇长文，叫《关于科学的哲学的论述》。文章建议，可以建立一系列政府管理方面的科学或学问：外交可以建立外交事务管理的科学，法治可以建立法治管理的科学，行政可以建立行政管理的科学……这是 140 多年前他的一个设想。20 世纪 50 年代初，我还没有回到祖国的时候，发现了这篇东西，我和我在学校工作的同事笑话他。我说，政府管理的学问，恐怕不能建立像自然科学那样严密的科学。我那时想，像你们美国政府，你们那些政客们，官僚们，都是不说真话的，讲的是一套，干的又是一套。你们那些政客们都是骗人的。骗人的东西，怎么能建立科学呢？科学是老老实实的学问，骗人的科学是没有的！所以，当时我笑他，安培的设想是很高尚的，可惜是空的。但安培的理想，在社会主义国家，尤其在我们社会主义的中国是可以实现的。这是因为我们是讲科学的，是不搞鬼的。那么，这就是我开头说的今天我要讲的研究和创立社会主义现代化建设的科学。我认为有了社会主义现代化建设的科学，我们就可以避免犯错误，或者用我从前在这里说过的话，要逐步从必然王国走向自由王国。特别我觉得，我们在实现十二大提出的全面开创社会主义建设新局面这个任务时更应该考虑这一严肃的现实的问题。我们应当努力向这个方向去做工作，逐步建立起社会主义现代化建设所必需的科学。

六、建设和管理国家的科学是社会系统工程的理论

实现社会主义现代化，需要一门新的系统工程，我们把它叫做社会系统工程或社会工程[5]，是改造社会、建设社会和管理社会的科学。它的一个目的，就是把社会科学和其他科学结合起来。这是一门实际的技术。采用这门技术，就可以设计出社会主义现代化的蓝图，如同现在的工程师们设计一个产品，一项工程一样。指导这门工程技术的科学理论呢，里面有许多像技术科学类型的学问。所谓技术科学，是借用自然科学技术里通用的术语：在自然科学技术里，一个是直接改造客观世界的工程技术，一个是为工程技术提供理论基础的技术科学。技术科学，或者叫应用科学，是有别于基础科学的。它们的层次是从基础科学到技术科学，再到工程技术。我想，进行社会主义现代化建设的各种学问，也应该有一个

层次。比如，直接改造客观世界的，叫社会系统工程，这是第一层。为社会工程提供理论[263]依据、理论基础的属于技术科学的性质，是第二层。像我说的社会主义现代化建设的科学，就是技术科学的性质。它为直接绘制我们社会主义现代化建设的蓝图提供科学根据。再上去，就是基础科学的类型了，就是人们熟悉的社会科学方面的学问；这是最高的一层。

为了说清楚这个问题，我把社会主义现代化建设要办的事，暂时划分八个大方面。每一个方面又可以说是一个国家生活中的一种功能。功能这个词，是借自生物科学的。在生物科学里，所谓生物功能协调，那就是发育正常，欣欣向荣。功能不正常，不协调，那就异常，陷入病态。我们常说，经济发展要良性循环，不要恶性循环。这个良性循环就是功能正常，恶性循环就是功能失常。所以我把国家生活的八个方面又叫八个方面的功能。

第一个功能：物质财富的生产事业

物质财富的生产是国家功能的根本。没有物质财富的生产，人民无法生活，其他一切也都谈不上。因此，它也是国家的基础。所以，党的三中全会以来，我们党和国家一直在抓这个问题。随后党的十二大报告，党的十二大文件进一步讲了这个问题。赵紫阳同志在五届人大四次会议作的政府工作报告中，又讲了这个问题。他阐述了国家经济建设的十条方针，总结了建国 30 多年来正反两方面的经验和教训。胡耀邦同志在十二大报告中，概括地讲了这项功能的四个方面的工作。我想，这些得到我们全党、全国各族人民一致拥护的原则，应该成为我们今后相当长的一个时期内物质财富生产事业的方针政策。我们遵循这些方针政策，就能建设起物质财富生产的良好的国家功能结构。当然，我们随着事物的发展和经验的积累，可能还会在具体问题上作一些调整、补充。但总的说来，大局已定，建立物质财富生产的国家功能结构的这个原则是很明确了。

我在这里想提出一个问题，即我们在研究物质财富生产事业这个问题时，要不要研究和解决通过什么样的途径，把全体人民建设社会主义的积极性充分发挥出来？现在常常听到这样的议论：这个没钱干不了；那个好是好，没钱也干不了，好像没有钱什么也干不了。我们国家的财政收入有限，一年才大约 2000 亿元，但又想办很多的事情，是有困难。但是不是这 2000 亿就把人限制死了，就没有办法了呢？看一看农村发展的形势，就好像没有限制死。最近看到首都钢铁公司的情况。首钢的年产值翻两番，可以不要国家投资，不增加能源的消耗。这好像也打破了刚才说的钱，即投资的限制。我看根本的问题是发挥人的智慧，人创造物质财富和精神财富的积极性。在我们社会主义国家，我们的政府，我们的党就是要把大家的聪明才智和能力都发挥出来；钱，毕竟是一个人为的因素。人为的因素，

就可以人为地打破它。这是不是我们的经济学家当前要研究的大问题？我看是一个大问题，一个实际的问题。[264]

第二个功能：社会主义精神财富创造事业

如果说，物质财富的生产是对应于社会主义的物质文明，那么社会主义精神文明对应的就是精神财富的创造。在这里，精神财富这个词，恐怕也要加上一个限制词，是社会主义的精神财富。精神财富足属于上层建筑的；所以，它的内容有的是有阶级性的。

那么，什么是社会主义精神财富的创造事业呢？既然我们把它看成国家的一个功能，那就有必要研究清楚。比如说，自然科学技术，或者我们常常说的科学技术的研究，应是属于精神财富创造事业的。社会科学要照我现在的说法，还要说社会科学技术的研究，也是属于社会上义精神财富创造事业的。文学艺术的创作、书刊、报纸、编辑、出版、印刷业、电影业、广播电视业、教育事业、体育事业，以至于资料情报事业，还有图书馆、展览馆，这些都应该是社会主义精神财富的创造事业[6]。

社会主义精神文明和社会主义物质文明一定要同时建立，这是我党十二大报告当中明确的一个非常重要的问题。过去，我们把刚才说的这些内容，统统归在“科教文”这个口袋里。而且认为这个“科教文”，好像就是一个消费的，不创造什么财富。像我这样的人，从事科学研究工作的，大概也是消费的吧！否则，你于什么了？创造什么财富了？现在我们明确了。不是这样的。这是非常重要的一个方面。社会主义精神财富的创造事业，有它的特殊地位和重要性，这在党的十二大报告中已经讲得很明确了。我们为什么把它放到这样高的位置？我看是不是有这样一个原因：我们这个国家不是靠命令、靠强制去要求人民遵循社会主义道德，而是靠人民自觉地按照社会主义的道德指导自己的行动。这首先是可能的。因为我们是社会主义国家，社会主义是人民的自觉需要。其次是必要的。因为我们的制度是各种社会制度中最民主的。大家是自觉的，不是强制的。

要做到高度的社会主义精神文明，首要条件是要有高度的自觉性。这就要求我们的人民有高度的教养。什么是教养？那不外乎是有知识。比如说，要有历史方面的知识。我们不是有的时候一些青年的信仰出了问题吗？说资本主义怎么怎么好……后来，我们在大学里教了近代史，问题解决了。我曾到清华大学去问学生，我说，你们现在怎样？他们说，现在我们解决了。我说，怎么解决的？他们说，“我们学了近代史。从前不知道，还嚷嚷要试试资本主义；学了近代史，知道我们试过了，不行。”这不解决问题了吗！所以要想有高度的社会主义精神文明，非要有知识，即有教养不可。还有我们责怪青年中间有时候不太正常的欣赏文艺

的倾向，其实，根本问题是他们不知道什么是好的文艺，什么是坏的文艺。所以，要通过教育来提高他们的欣赏能力。

这里无非是举了几个简单例子，就说明了要建设高度的社会主义精神文明，[265]确实要有两个方面。一个是思想建设，一个是文化建设。不能仅注重思想建设，忽视文化建设。文化建设也是很重要的。这个认识需要我们做很多的宣传工作，使大家认识到建设社会主义精神文明的重要性，认识社会主义精神财富创造事业的重要性。

解决了认识，我还觉得要是真正地深入到这个问题里面去，还有许多问题要研究。比如，在我们国家，党是领导一切的，党怎样正确地来领导这个事业？再说一点我的本行。在自然科学研究：工作中，我们就存在一个问题，即究竟是基础研究重要，还是应用研究重要？基础研究和应用研究相应的比例究竟是什么？我们在这个问题上已经摇摆过多次了。我觉得这个问题，要下决心搞清楚。第一，开宗明义，明确我们国家的自然科学技术是一定要为社会主义建设服务的。这是因为，我们国家的一切都是为现阶段的任务——社会主义建设服务的。所以，自然科学技术也当然是这样。第二，同时也要尊重自然科学技术本身发展的规律，也就是尊重科学，不能蛮干。我们以前干过蠢事。大炼钢铁，把锅都打碎了。我认为，科学技术就像文学艺术一样，文学艺术一定要为社会主义建设服务，但社会主义文学艺术不直接等于政治。那么，自然科学技术也一定要为社会主义建设服务，但自然科学技术也不直接就等于建设。这个意思就是科学技术的发展有它自己一定的规律。前年赵紫阳同志在科学技术奖励大会上的讲话也指出来，我们虽然要我们的科技工作更多地去参与攻关，建设我们的社会主义；但对于基础研究，我们还是要重视。这就说出了一个很重要的道理，就是基础研究如果完全没有，那么将来科学技术的发展必定要受到影响。因此，我的说法就是，一是要明确自然科学技术是为社会主义建设服务的，二是要尊重科学技术本身的发展规律。科学技术的发展，它本身还有一个应用和基础的关系，这是我们研究整个社会主义精神财富创造事业时要很好搞清楚的。

明确了以上两个问题，紧接着还有一个问题。我们是社会主义国家，我们的一切是党领导的。因此，我们的科学技术发展必须要用马克思主义的哲学来指导。这一点不能动摇，而且我们还要加强宣传。我个人有个体验：过去，我曾经给科技人员宣传这一点，劝他们一定要学一点马克思主义的哲学。但对我的反应常常是很客气地点点头，实际上是没有说服他。还有一个同志，他做了很多工作，也很有成绩，我对他也很尊敬。我劝他学一点哲学，他反应很冷淡。意思大概就是：你看，我没有学哲学，我也干得不错嘛！我看了他的反应，我就说，你没有学哲

学，你干得不错，但你没想到，你要再学一点哲学，你干得更好！我想这一点我们还是要做宣传。因为这是一个真理。道理是很简单的。既然马克思主义哲学是所有人类认识客观世界的最高的概括，最高的学问，最一般的规律，因而它当然可以指导科学研究，包括自然科学的研究。我可以举很多例子来说明，也可以引经据典。[266]比如，恩格斯就讲过："伟大的科学家，渺小的哲学家"，等等。但说这个，不免有点挖苦了！

科学技术必须要有马克思主义哲学的指导，这是问题的一方面。另一方面，我们又要看到科学技术的发展反过来，又为马克思主义哲学的深入和发展提供素材，这同样也很重要。因为马克思主义哲学不是教条，不是一成不变的。而是发展的，有生命的。怎样发展的呢？就是靠后来人的社会实践来发展。自然科学技术是人的社会实践的一个重要方面。自然科学技术的发展，必然也会为发展马克思主义的哲学提供素材。这一点是很重要，也是很有教训的。我们强调这一点，是因为我们曾经办过一些不太好的事，就是我们喜欢把科学技术新的发展拿来套经典（如某些哲学工作者）。他套了以后，认为套不上，就批，就反对一气，批这个科学技术新的发展方向。比如大家所熟悉的，我们国家就批过摩尔根的遗传学。批得很厉害！还有，我是 1955 年回到祖国的，那个时候，我什么也不懂，根本不知道 1955 年苏联在批控制论，所以我还在讲我的控制论。幸好这次没有批多久，记得 1956 年我到苏联去，好像这阵风已经过去了，所以我没挨上。实践证明，这又是批错了的。我们还批过量子化学里的共振论，这个就更有意思了。因为量子化学里这个共振论的提倡者是美国科学家鲍林（L. Pauling）。鲍林是有开明进步思想的。20 世纪 50 年代初的美国，出了一个参议员麦卡锡，是专门打人，抓共产党的。他抓来抓去，抓到鲍林教授那里去了。鲍林教授倒有个挡箭牌。他说，"你抓我，说我是共产党，你看，共产党还在批我的理论呢！我怎么是共产党呀？"

所以，这些问题都说明我们对于自然科学的新的发展，它到底是对？还是不对？应该采取很慎重的态度。

我们一定要强调、要宣传马克思主义哲学对科学技术的指导作用。这个工作要做得好一点，就会使得我们有更多的科学技术人员学马克思主义哲学，运用马克思主义哲学。这对于我们国家的科学技术发展将会有很大的促进。而且这个是强有力的，是我们国家之所长。另一方面，我们也要注意从自然科学新的发展和工程技术新的发展中间吸取素材，深化和发展马克思主义哲学本身。这是我讲的第二个大部分，即精神财富的创造。

第三个功能：社会主义的服务事业

为物质财富的生产和精神财富的创造做后勤保障工作的是服务事业。这个大

致相当于国外的所谓“第三产业”；但是也不相同。我们的服务事业不包括归入到社会主义精神财富创造事业中的那些方面。包括什么呢？是商业，公共事业，像供水、供电、供气、供热；交通事业，像铁路、公路、水路、民用航空、邮电、通信；人民生活方面，像城市建设、卫生、医疗、住房、饮食业、修理业和其他的服务行业。[267]现在我们对于服务事业的重要性的认识正在提高，逐步地认识到它是我们整个国家功能结构体系里面的后勤部门。没有它，其他的功能就无法发挥。比如说：能源问题，交通问题。

我们开始重视服务事业，随后就可能提出一个问题，根据国外的统计资料，在发达的国家里，服务行业就业的人数达就业总人数的一半以上，像美国这些国家甚至达 60%以上。同志们会感到怎么会那么多？不好理解。是不是这些人都不生产，都在那儿服务？当然在资本主义国家所谓的服务事业里，有一些在我们社会主义国家是不提倡的。但是我觉得这里也有一个认识的问题。一方面我们要看到在现代社会当中，交通运输、能源供应、邮电、通信等的重要性。这是我们 100 年前所不能想象的。另一方面我们也要看到，本来我们的生活劳动，像家务操作，是不计算到国家的劳动就业里面的。虽然没有把这一项算到国家的劳动就业里面，可是人家在家里干呐！我想大概有三分之一以上的人口是在干这件事。随着社会的发展，家务劳动会逐步地更有效的被组织起来，走向社会化，这样就列入了国家的就业劳动。社会化了以后，效率提高了，从前要用三分之一以上的人干，现在可能只要一半，那也要占到人口的六分之一，再加上其他的服务行业，按整个就业人口的比例算，那整个服年行：业就占整个就业人数的三分之二，这就完全可以理解了。很可能将来的服务事业是就业人数最多的……个功能。是国家功能结构体系里面的一个大头。这是一个趋势，是社会发展必然带来的一个趋势，我们要注意到这样一个趋势，否则会措手不及的。

我曾经在几次讨论当中提出过注意重视通信事业的重要性。在现代化社会功能当中，信息、情报的交换是很重要的，它的重要性首先是表示在量大，其次是要求快速准确。这在我自己的工作实践中，在国防尖端技术的试验中，已经体会到了。大型试验的组织指挥、调度和信息交换是今后现代化通信的一个缩影，将来恐怕各个方面都该是这样。正因为这样，现代化的通信才不断地向大容量、远距离、搞可靠的直接传递技术发展：从多路载波电缆到微波中继发展到同步通信卫星，现在更先进的激光通讯已进入了实用阶段。对这些我们要倍加注意，否则将来跟不上，就要拖其他方面的后腿。

我们社会主义国家的服务事业，其根本任务就是要对我们国家的每一个公民的生、老、病、死负全责。这一点特别重要，它是不同于资本主义国家的。而且

要研究处理的问题更复杂，我们国家现在还比较穷，我们的社会生产还比较落后。所以，陈云同志讲，第一要吃饭，不能吃得太差，但是也不能吃得太好；第二要建设。这个话讲得很精辟很透彻。但是就因为这样，我们就要在可能的范围内精打细算，用科学的方法把服务事业组织好，少花钱多办事，还要提高我们的：工作效率。提高效率就要打破“铁饭碗”，人才的“单位所有制”，这方面可以做的工作还[268]很多很多。这就是第三个方面的国家功能，我们要真正下功夫来研究它。

第四个功能：国家和各级行政管理机构

我们建国已经 30 多年了，有很丰富的经验，也有沉痛的教训。目前我们国家的体制还是有弊病的，这些弊病已经充分地暴露出来了。对于这些弊病大家也是认识得比较清楚的。现在我们党和国家正在着手进行改革、整顿，到本世纪末，我们都要进行这项工作。现在我们已经重视，已经下了决心，但是在进行这项工作的时候，也要考虑到：国家机构，一方面要不断地改进，即随着国家事业的发展，是要调整，要演变的，但是也要有一定的稳定性。倘若我们的机构年年变，你的工作就很难适应，就使得我们无所适从了。老在变，怎么做工作？但是也不能够一成不变。我们现在讨论体制的时候，也常常听有的同志说，多少年前或者是建国初年那个时候怎么不错。这似乎是一种怀旧思想。是有一个时期我们挺好，大家也觉得好，我们想往那个时期，这是可以理解的。但是毕竟 80 年代跟 50 年代是不一样了，我们 80 年代的中国怎么能和 50 年代的中国一样呢？所以行政机构的体制也应该随着社会主义建设的进展而做相应的调整，也要随着经验的积累和改进工作的效率而调整。是不是几年搞一次小的调整，更长一点时间摘一次大的调整？这样，在国家的功能机构中，是不是要有一个常设的国家体制的研究设计单位，像总体设计部似的，经常研究这个问题，并且及时的提出建议和方案？

第五个功能：社会主义的法制体系

这个体系包括法律、立法机构和执法机构，各级公安部门、检察院、法院。它们的重要性不必多说了。但是我觉得在我们这样一个国家，对于法治的重要性好像还需要做大量的宣传，要引起全体人民的重视和提高认识的时候，我们不要忘了我们有 2000 多年的封建社会，100 多年的半封建半殖民地社会这么一个情况。在奴隶社会里，什么叫法？法完全是奴隶主个人的意志，生、杀大权都在他那里；到了封建社会，情况有些变化，有了法典。但是那时候皇帝老子还是“金口玉言”，他说了算。有一句话：王子犯法，庶民同罪。恐怕那也是骗人的。封建体制当中，各级官僚也有一定的生、杀权力，也就是说他们“批示”就算数。后来资产阶级出来了，他们推翻了封建制，他们宣扬民主，号召法治，说大家都要依法守法，

以法律为准绳。这么说，那当然是大大地向前走了一步。但是我们也知道，在资本主义国家法制是不完善的，它首先是为资产阶级政治服务的。比如说：他们公开称道德和法律是两回事，互不相干，可以互相背离。比如说道德，他们也认为投机取巧是不道德的，但是法律并不取缔这些行为，投机取巧，买空卖空都是合法的。资本主义国家的法律为资本家干坏事留了很多空子，有许多漏洞，好让资本家雇佣的律师们利用它来为剥削行为辩护。

所以，我同意张友渔同志的意见。他在《法学研究》1981 年第 5 期上表示了这[269]么个意见。他说：我们要在马克思主义哲学的指导下，用历史唯物主义这个锐利武器，认真开展法制史的研究，区别哪些法制遗产可以继承，哪些法制遗产要批判，为建立社会主义的法制打下基础，这完全是对的。既然作为一门科学，我觉得就有这么一个问题：就是我们社会主义的法，应该是老老实实的，是为建设我们社会主义服务的。我们不能像资本主义国家那样，法律故意留了许多漏洞让资本家去钻。我们的法要有一个完整的体系，这个系统最高的层次，首先可能是国家的宪法。其次，我们党是一个执政党，党章自然也是一个根本大法，是第二个大法。由此而下，下面一个层次，是全国各部门通用的刑法、民法、经济法、婚姻法等等；再下一个层次是一个部门的法规，像专利法等等；再下一个层次，是部门的法令以及其他更下层次的法令、条例、命令等等。这样一个体系，就是要完备，不能够有漏洞，不允许任何人钻空子，而且最好没有交叉。有了交叉，到底依靠什么来执行，就有矛盾了。交叉就是有矛盾。怎么样来检查我们法制系统的完备性呢？将来在我们的法逐渐地完备起来以后，就是一个问题。现在就有一些不同部门的法令、条例或者命令有交叉。有的同志说：按照严的办，哪个厉害就按哪个办！这也不一定。怎么避免这种情况？在执法的实践当中来考验，固然很重要，但是这样考验的时间可能会嫌长一些。我考虑是否还有另外一个办法，这就是设想出各种各样人的行为或者叫典型事例或者叫典型案件，看一看用我们法的系统能不能够得到合乎社会主义法学原则的处理。如果不能，这个法的系统就不够完备，就发现问题了。要检查整个法的系统，用这个办法，用典型事例，典型案件，也许要成千上万件或者上百万件，你才可能搞全了。我们要是人工的一件一件的对照检查，这个工作量大极了，而且太慢。这样我们很自然地想到电子计算机。因为这完全是一个逻辑的处理，这个逻辑处理完全可以编成程序（即软件）输入到电子计算机里去，计算机按程序高速度地来完成这项检查工作，这不是把现代科学技术用到法制上去了吗？这个全过程，是否就是法制的系统工程[7]。这就是说，这第五个方面的功能完全可以科学地来处理，而且要运用现代的科学技术。比如用电子计算机，用信息库等。

第六个功能：国际交往事务

这个问题的原则在十二大的报告中有一大章详尽的阐述。对外交往，有多方面的。除了政治方面的，还有经济的、贸易的、科学技术的、文化的；有友好访问、旅游，等等。这些国际事务的各方面是互相联系，交织在一起的。我国的国际交往总的是由党和国家直接掌握的，是通盘考虑的，这是我们社会主义制度优越性的又一个体现。但是实际上，我们各个部门中间还有一个协同的问题。我们在这方面还应该大大地加强组织管理，提高工作效率避免互相脱节。比如引进技术，我们就有协同不好的问题。常常外交是外交，科学技术是科学技术，引进是引进，[270]互相不协调，相互脱节。我们社会主义国家要全面的考虑国际交往。我觉得我们现在实际上好像还没有完全做到，部门与部门之间还不是一个协同的体系。怎么样把这些复杂的事务协同起来呢？这要有一个专门的机构，负责搞好各方面的协同，而且要引用系统工程和系统分析的方法[8]。

第七个功能：国防事业

它包括军队，即陆军、海军、空军、兵种，国防科学技术的研究机构，国防工：业和军队院校。这些都是由中央军事委员会直接领导的。建国以来，我国的人民军队在保卫祖国和社会主义建设中建立了不朽的功勋，这些都将继续发扬光大。在国防现代化中，正规化的，革命化的人民军队是要发挥更大作用的。

第八个功能：国家的环境管理

它包括生态平衡、环境保护、地质、气象、地震、海洋以及废旧物资的回收利用。资本主义工业发达国家的教训和我们自己 30 年来的经验，使大家对环境问题开始重视了。国家颁布了环境保护法，成立了城市建设环境保护部。许多同志还进一步提出了要把国家的生态系统引入到良性的平衡，大大增加森林覆盖面积，制止水土流失，从而保证农业生产的基本条件。不少同志还强调：必须严格控制工业的废水、废气、废渣对环境的污染，不然人民的健康要受到威胁。我国有 960 万平方公里的陆地和附近的海域，还有下面几公里的地壳，上至几十公里的大气层，对它们应该有一个充分的了解和认识。有了对环境的了解和有关知识，还要用它来调整我们改造客观世界的指导思想。这方面我们一定要吸取世界各国的经验教训，结合我们自己的实践，用马克思列宁主义、毛泽东思想来制订我国的环境政策。我觉得这里还有这样一个问题，怎么看待废旧物资，或者叫废水、废气、废渣？据统计，我国在 1981 年全国供销系统一共回收了废旧物资 1130 万吨，价值 19 亿元。而且这也仅是占工农业总产值的 2.8%。具体资源按品种的回收率还没有统计。但是我们粗略做一比较就可以看出远远不如国外一些国家所达到的数字。比如联邦德国，回收锡，回收率就达到 46%，铅达到 45%，纸达到 45%，铜达

到 40%，钢达到 35%至 40%，铝达到 25%至 30%，锌达到 20%至 25%，玻璃达到 15%。我们对于回收废旧物资和三废处理，要提高认识。你不要只把眼睛盯在“废”字上，你要把它看成是资源，而且这个资源是不要去开采，是送上门来的。已经到了手的东西不要扔！这个问题从前我们也多次说过要重视，但是我们恐怕是消极的方面想得多了一点，积极的方面想得少了一点。老是这样，把废的东西都扔掉，实际上是浪费了国家的资源。此外，扔了以后，它还造成祸害，污染环境。类似这些方面还有很多很多工作要做。比如：城市垃圾，想办法搞成城市沼气，不就成了能源了吗？总之，环境管理非常重要，工作也很复杂、艰巨，是一项复杂的系统工程技术——环境系统工程技术[9]。[271]

上面我讲了国家功能的八个方面，也就是我们要研究和创立社会主义现代化建设的科学，这门学问中所要研究的八个方面的主要内容。

国家功能的八个方面，每一个方面都是一个复杂的多级系统，都要建立各自的系统工程；同时，也要创立相应的理论科学作为他们的基础。下面就讲讲这方面的问题。

七、社会主义国家科学的体系

物质财富的生产事业要联系到工农业生产的系统工程，企业的系统工程。它的理论科学是经济学，或叫技术经济学。精神财富的创造事业，就是管理文化的系统工程，它的理论基础，我提了一个名词，叫文化学。服务事业是生产服务的系统工程，我们要创立一门专门研究服务事业的学问。行政管理有行政的系统工程，包括刚才讲的，有许多咨询机构，这里的学问是不是也可以创造一门理论科学叫行政学呢？法制事业是非常重要的，刚才讲了怎么样检查整个法制的严密性，这叫法制系统工程，当然它的理论就是法学。国际事务的交往是不是也要作为一项系统工程来看，也要建立一门综合的科学，不光是外交，是多方面的，国际事务方面的学问。至于国防事业，现在我们也在考虑，叫军事系统工程[10]，它的理论科学就是军事科学。国家环境管理叫环境的系统工程，它的理论科学叫环境科学。其实我讲的这八个方面，也不见得把事情都讲全了，比如非常重要的计划生育的问题，到底属于我刚才讲的八个方面的哪个方面？再有我们的思想建设，思想政治工作，也是一门科学。既然是一门科学那就要作为一门科学来研究。这也是一个大的学问，也是社会主义现代化建设中的科学。所以刚才我讲了八个方面，恐怕没有讲全，像人口问题，政治思想工作问题，这些都是非常重要的。

每个方面不能孤立地开展工作，要协调起来。组织协调得好，国家功能所发挥的总的效率才会高。不然的话，会有矛盾。这样一门组织协调国家功能各个方

面的总学问，是不是叫社会主义国家学？我们社会主义国家要科学地来管理，这就是一个很大的科学体系，是把社会科学、自然科学综合起来，应用到建设社会主义现代化的国家中去。这是要大家努力去干的一件很大的事情。

每一个方面的功能都要建立像系统工程技术那样的为改造客观世界的一套技术，然后又有这一套技术背后的，为它提供理论根据的技术科学，这些技术科学再总起来作为社会主义的国家学。这个体系就是我们社会主义现代化建设的科学（见表）。这样的提法，总的意见就是说我们面临了这么一个重大任务，我们一定要用马克思列宁主义、毛泽东思想作指导，采用科学的方法，努力从必然王国走到自由王国。我们相信这是可以做到的。因为世界上只有没有被人所认识的事[272]物，而没有不可以认识的事物。我们认识到一定的程度，就可以总结上升为理性认识，成为学问，成为用定量的数学方法所建立起来的科学的学问。那么建立社会主义现代化国家这个问题也必然是这样，也可以建立科学的学问。

社会主义国家科学的体系

<table>
<tr><th>国家</th><th>国家功能部门</th><th colspan="2">组织管理的技术科学</th><th>组织管理的工程技术</th></tr>
<tr><td rowspan="9">社会主义国家学</td><td>1．物质财富生产</td><td colspan="2">技术经济学
数量经济学
工业经济
农业经济、农事学</td><td>工程系统工程
企业系统工程
农业系统工程
……
……………………………………
计量系统工程
标准系统工程</td></tr>
<tr><td>2．精神财富创造</td><td>教育学
科学学
文艺学
体育学
情报学
新闻学
科普学
美育学</td><td>文化学</td><td>教育系统工程
科研系统工程
文艺系统工程
体育系统工程
情报系统工程
……</td></tr>
<tr><td>3．服务事业</td><td colspan="2">商学、运输科学等</td><td>各有关系统工程</td></tr>
<tr><td>4．行政</td><td colspan="2">行政学</td><td>行政系统工程</td></tr>
<tr><td>5．法制</td><td colspan="2">法学</td><td>法制系统工程</td></tr>
<tr><td>6．国际交往</td><td colspan="2">外交学
国际经济</td><td>……</td></tr>
<tr><td>7．国防</td><td colspan="2">军事学术</td><td>军事技术、军事系统工程</td></tr>
<tr><td>8．环境保护</td><td colspan="2">环境科学
……</td><td>环境保护系统工程
……</td></tr>
<tr><td>9．其他</td><td colspan="2">……</td><td>……</td></tr>
</table>

（表还不完备，还有许多空白待填补）[273]

八、参谋科学技术与领导的科学和艺术

前面这张表，尽管还不完备，还有许多空白等着填补，但已经包括了几十门学科。是不是每一个从事国家管理的领导干部都要精通这几十门学问呢？当然不是的，而且，由于一个人的精力、时间有限，也不大可能办到，我只是想向同志们提供这样一个信息：今后 50、60 年我们国家将经历一个史无前例的高速发展时期，作为国家的各级负责领导，将面临一个极为复杂而又关键的决策任务。决策任务完成得好与不那么好，是事关重大的。而在这一点上，唯一的途径是领导决策的科学化，力避走弯路。

怎样做到决策科学化？有不少同志喜欢用“领导科学”这个词，好像已经有了一门叫领导科学的学问，只要学了领导科学，按领导科学去决策，就能如同“三加五必然等于八”那样，保证正确。我不同意这种看法。我觉得要明确领导干部是专门人才，但又是通才，领导干部要有丰富的学识，但要有学问又不能是死学问，领导干部还要有领导工作经验。这都是因为领导决策毕竟不是“三加五等于八”之类的事情，有许多不那么清楚可定量的因素要在决策中考虑。所以我认为领导干部真正运用的不完全是领导科学而是领导科学和艺术。是的，要加“艺术”，不可能那么死，要活一点。

所以要培养领导干部实际上是培养通才。通才怎样培养？前面几节已经说到这个问题，我再在这里就培养领导干部讲得具体些，讲六个方面的学习：

第一方面是最根本的，也就是马克思列宁主义毛泽东思想的基本理论，按习惯的提法就是辩证唯物主义，历史唯物主义、科学社会主义和政治经济学。

第二是实际情况的学问。这是介绍我们国家今天的情况和世界今天的情况以及这些情况的历史由来。也就是中国和世界的地理、资源、人口、生产、贸易、军事、文化等各个方面以及中国历史、世界历史。

第三是现代科学技术概况。当然，这里只讲讲一般情况是科普知识。本《讲座》的后面各讲就是介绍这方面情况的。

第四是文学艺术。提出文学艺术作为培养领导干部的课目是必要的吗？我认为是必要的：毛泽东同志不是一位文学艺术家吗？周恩来同志不也是一位文学艺术家吗？我们党的许多杰出领导人都有很高的文学艺术修养，为什么不想想文学艺术的高度修养对他们的领导才能所起的作用呢？而且我们已经从根本上认为领导才能不只是科学，而且也是艺术，没有文学艺术素养的领导干部，其发展是要受影响的。

第五是军事。我们老一辈的革命家都是在革命战争中打出来的，对军事当然

[274]十分熟悉。但是现在我们是在和平环境中培养领导干部，而战争的因素还不能排除，要“居安思危”，要学习军事知识，培养军事素养。

第六是体育。领导干部工作繁重，身体条件好是非常重要的，所以培养领导干部要参加一定的体育训练。

古今中外有许多杰出领导人才成长的记录，从中可以概括出培养领导干部的方法。我上面讲的这六个方面是想包括这些经验，但不知做到了没有？

一位领导干部做出决策，他是主要负责人，但在今天决策的全部工作不应该是他一个人做的。这个做法最早是从军事决策开始的，在军事行动中，辅助指挥员作决策的人称参谋。在我国据说始于汉代，叫“参军”，在西欧则始于 18 世纪的普鲁士王国，就是参谋部。军事参谋业务后来有了很大发展，成为作战指挥的重要组成部分。到了本世纪，这样为领导决策咨询服务的工作已大大扩展，普遍进入了垄断资本主义的大型企业。20 世纪 30 年代美国总统设置了所谓“智囊团”是政府的咨询集体；到了 20 世纪 50 年代美国的咨询服务公司大量涌现，如著名的兰德公司（Rand Co.）就是[11]。这些事实说明要对复杂的事务做出科学的决策，只靠一个领导人是办不到了，他需要一个咨询参谋集体，一个班子。这是个包括多种专业人才的集体，用集体的智慧为领导决策提供咨询服务。这是领导决策科学化所必需的。

近几年来，我们国家的领导机关也已采用了咨询集体的做法，已经建立起一批这种机构。如国务院就有国务院经济技术社会发展中心，国务院国际问题研究中心，国务院经济法规研究中心、国家计委就有经济预测中心、国家科委就有科学技术促进发展研究中心、国防科工委设科学技术委员会等等。我所熟悉的一所“民间”咨询集体是航天工业部信息控制研究所，所谓“民间”，是因为他们接受各方委托咨询业务。这一趋势将会发展下去，领导决策的咨询机构将会更多，其业务所需要的科学技术也会进一步深化。

什么是决策咨询机构所要的科学技术？为回答这个问题，我要介绍一下决策咨询机构的工作，这是大不同于一般所谓在领导人主持下的专家研究讨论座谈会。专家座谈会上，专家们各就自己的专业知识和工作经验，对决策的题目讲一通自己的看法，各有一得之见，也都十分重要，但往往无法形成一个决策。在这种情况下，领导下决心也就不免拍脑瓜，一板定案，搞错了的危险是存在的。这使专家的话形不成科学的答案。而上面讲的咨询机构则不然，他们也要请有经验有专长的专家来发表各自的看法，但咨询机构要把专家的意见进行分析，理出条条，纳入一个数学计算模型，也就是明确参数之间的定量关系。模型还要引用各种调查所得数据，尽量核实的数据，如数据有不确定的幅度，也得标明。然后把模型

放到电子计算机里去计算。得出结果后，再把结果告诉原来提供看法的专家们，再次[275]征求专家们的意见。如此反复，直至大家满意；这最后结果就是正式的咨询机构对决策问题的答案。显然，这种咨询机构的工作需要三个方面的协作：一是各位有经验有专长的专家们；二是调查数据的提供单位；三是建立数学模型，进行电子计算机运算分析的人，即系统工程、系统科学的专家集体，包括计算机专家。调查数据大概取自情报信息系统。有经验有专长的专家可能在咨询机构内部，但也常常要求教于咨询机构之外的专家们。所以科学的咨询业务是靠专业协同来完成的，但必须有个实体，以系统工程、系统科学、计算技术为主体的实体，这个实体就是咨询机构本身。

明白了咨询机构的工作内容，我们也就可以知道咨询业务所需要的科学技术，即社会主义国家学、社会系统工程和电子计算机技术。用它来帮助领导干部制订社会主义建设的国家大战略和部门战略。

从以上说明的情况看，现代化的咨询工作是引用了现代科学技术的最新成果的，现代化的咨询工作是集体智慧所创造的，因而现代化的咨询工作是领导的可靠助手。

一位有素养的领导者使用了这种咨询机构所提供的参谋方案，加上自己的领导科学和艺术才能，一定能使他的决策科学化；领导决策的科学化是完全可以做到的。有了领导决策的科学化，我们就能在复杂的高速发展变化的环境中减少失误，从而使我们国家顺利地从第一阶段走向第二阶段，从第二阶段走向第三阶段，完成到建国 100 周年的建设社会主义强国的大业！

本文取自由钱学森（主编）、吴义生（副主编）合编的中共中央党校附设函授学院教材：《现代科学技术的知识和我国科技政策讲座》（1985 年讲）。

参考文献

[1] 张奎良：《马克思的社会形态学说的形成》，《求是学刊》，1984 年第 6 期。
[2] 卢俊忠：《社会经济形态不是经济形态》，《理论月刊》，1984 年第 8 期。
[3] 彭迪：《试论当今的战争与和平问题》，《解放军报》，1985 年 8 月 6 日，第一版。
[4] 恩格斯：《反杜林论》，《马克思恩格斯选集》，第三卷，第 323 页。
[5] 钱学森、乌家培；《组织管理社会主义建设的技术——社会工程》，《论系统工程》，湖南科学技术出版社，1982 年，第 28 页。
[6] 钱学森：《研究社会主义精神财富创造事业的学问——文化学》，《中国社会科学》，1982 年第 6 期。
[7] 钱学森、吴世宦：《社会主义法制和法治与现代科学技术》，《法制建设》，1984 年第 3 期。
[8] 钱学森：《把系统工程运用到我国对外贸易领域》，《对外经贸研究》（对外经济贸易部政策研究室），1985 年 3 月 20 日第 10 期。[276]

[9] 钱学森：《保护环境的工程技术——环境系统工程》，《环境保护》，1983 年第 6 期。
[10]钱学森、王寿云、柴本良：《军事系统工程》，《论系统工程》，湖南科学技术出版社，1982 年，第 40 页。
[11]张静怡：《世界著名思想库》，军事科学出版社，1985 年。
[277]

现代科学技术的特点和体系结构

钱学森

在第一讲，说了要进行社会主义建设、改造客观世界，就必须运用人类通过实践认识客观世界所积累的知识，而其中一个重要组成部分就是现代科学技术的整个体系。这一讲就专门讲现代科学技术体系。由于现代科学技术体系发源于自然科学，人们一说科学技术常常就想到自然科学，所以讲现代科学技术就要从自然科学讲起，先弄清自然科学的对象，再讲现代科学技术的特点、体系结构，及其发展趋势。

一、自然科学的研究对象

人类生活在自然界中，天天和自然界打交道，自然界既是人的变革对象，又是人的认识对象。所以，人们形成了一种朴素的看法，自然界是自然科学的研究对象。

自然界是由各种运动着的物体、物质组成的统一系统，其中既包括漫游太空的庞大星球、太阳系、银河系、总星系及观测所及的全部宇宙天体，微小的瞬息万变的分子、原子，各种“基本”粒子，又包括各种复杂的无机物、有机物和各种有生命的微生物、动物、植物、人类，还有作机械运动的实体以及弥漫各种空间的许多场。总之，自然界一切实际存在的客体，它们具有的各种特性、结构、存在状态、运动形式等等，都是自然科学的研究内容。恩格斯说：“自然科学的对象是运动着的物质、物体。”[1]

但是，物质和运动是密不可分的，各种物质的特性、形态、结构及其规律性，都是通过运动表现出来的，要认识物质首先得研究物质的运动。恩格斯说：“自然科学只有在物体的相互关系中，在物体的运动中观察物体，才能认识物体。对运动的各种形式的认识，就是对物体的认识。所以，对这些不同的运动形式的探讨，就是自然科学的主要对象。[2]

自从自然界产生人类以后，人和自然就相互作用、相互影响，自然科学的研究范围也相应地扩大，研究对象也更加复杂。现在的自然，除了太阳系以外的宇宙[278]星系还没有受人的影响，属于天然的自然之外，整个地球、月球包括太阳

系中某些行星已经受到人的活动的影响，自从向宇宙太空发射宇宙飞船探测球外文明以后，人类对宇宙的影响范围还在扩大。此外，人类运用自己的智慧加工自然界原有的材料，制造出自然界原来没有的东西，如各种厂具、机器设备、建筑物等；还创造出模拟人的思维功能的人工智能机器，这是具有特殊性质、形态、结构的人工自然物，属于人工自然，也是自然科学的研究对象。因此，必须改变16、17 世纪流行的自然科学只纯粹地研究自然界的观念，应该看到到了 18 世纪末以后，自然科学的研究范围早超出了自然界，包括了整个客观世界，自然的和人造的。只是自然科学研究的着眼点不同，看问题的角度不同，它是从物质在时间空间中的运动，物质运动的不同层次，不同层次的相互关系这个角度去研究整个客观世界的。

二、自然科学发展到现代科学技术

自然科学的发展，经历了古代、近代、现代这三个阶段。自然科学作为人类征服自然的一种手段，是从古就有的，但是，真正作为一种专门的事业来搞，还是近代的事。近代自然科学技术开始于资本主义萌芽时期 16 世纪的意大利。恩格斯热情地歌颂了这一事实，他说："这是一次人类从来没有经历过的最伟大的、进步的变革，是一个需要巨人而且产生了巨人——在思维能力、热情和性格方面，在多才多艺和学识渊博方面的巨人的时代。"确实是这样，从列奥纳多•达•芬奇、阿尔勃莱希特•丢勒到布鲁诺、哥白尼，他们开始了近代科学技术的时代。这个时代一直到 19 世纪 70 年代，资本主义开始没落，走向垄断资本主义而结束。近代科学技术就是以这先后 400 年作为一个时期的。近代有别于古代，也有别于现代。这种划分的理由是：第一，它是合乎整个社会发展的历史的，是和资本主义的上升阶段相一致的。第二，它也是合乎科学本身的历史的。因为在这 400 年的近代科学技术中，整整前 300 多年还是恩格斯称之为搜集材料"的科学。只是在这个时期中的最后几十年，才开始进入系统地研究事物在整个自然界当中的发生、发展和相联系的阶段，成为恩格斯称之为"整理材料"的科学。所以，在这个时期的绝大部分时间里，自然科学是调查研究、搜集材料，还没有来得及建立一个体系。第三条理由，就是这 400 年的科学技术的工作方式是个体劳动，没有社会化。比如，科学史上讲牛顿发现万有引力，据说是因为他看见苹果从树上掉下来，这一下悟到了万有引力。事实上不一定是这样，但故事是这样讲的，无非想说明牛顿是一个人琢磨发现了万有引力。瓦特造蒸汽机，是瓦特这个老工人师傅，带几个徒弟干的，世界上有伟大历史意义的蒸汽机就是这样造出来的。在历史上，发现电磁相互作用，也是了不起的事情，这是法拉第带一两个助手，在一间屋子里，

用一个[279]台子，弄几根电线，还有一块磁铁，就这样研究出电磁相互作用的。这几个例子说明，在这个时期科学技术确实还没有社会化，尽管科学技术工作者是社会的成员，不能离开社会而生存，但就其劳动方式和状况来讲是个体劳动。

由近代科学技术再进一步发展，就到了我们称之为现代科学技术的时期。由近代科学技术进入现代科学技术，这是一个很大的变革，19 世纪末叶就出现了有组织的、规模比较大的科学技术研究单位研究所，科学技术工作不再是一个科学家带几个助手干了。促成这种变化的有内在原因，还有外部原因。内在的原因就是因为科学技术到这时期已经比较复杂了。专科、分科很多，不分科就深入不下去。但是分了以后，解决任何一个具体的科学技术问题，光是一个行业是解决不了的，必须有多种的行业或专业相互协作才能解决。再有，所使用的科学技术设备、研究设备、仪器也复杂得多了。过去法拉第研究电磁现象，弄个台子，有块磁铁，几根电线就可以搞了。但在这时电力工业出现了，其他各门科学研究也大大发展了，科学研究所需要的设备比较复杂，制造、维护这些设备也需要专门的力量。这时一个人或少数几个人不能够全部承担起来，所以就一定要有一个组织，这就是出自自然科学技术本身的原因。再就是外部原因，促使这场转变的是当时出现了一场技术革命。

这个时期出现的一场技术革命是发明了电力。为了解决当时新兴的电力工业提出的各种问题，美国发明家爱迪生在 1876 年个人投资组建了世界上第一个科学技术研究所。这个研究所有 100 多人，里面有各种专业的科学家，如物理学家、化学家，也有各种专业的工程师和技术人员，还有技术工人，是搞设备和机械加工的，还有图书馆、器材库。一句话，爱迪生 1876 年组建的研究所，是我们现代科学研究单位的一个雏形。当然，比起现代的科学研究单位，100 多人是小的了，但是现代科学研究所所有的一些组织部分它都有，很齐全；而且整个研究所的工作都在统一的、严密的组织下进行。爱迪生这个人，世界上推崇他是发明家，确实，在他名义下的发明专利是非常多的；但是我们要看到，实际上他是代表了这 100 多人的研究所，这些专利实际上是他的研究所的 100 多人集体创造出来的。这一点很重要，说明爱迪生的研究所，开始了现代科学技术的时代，也就是科学技术从个体劳动转变为社会化的集体劳动的时代。这是一个很大的变革，推动这种变革的，当然首先是资本主义从自由资本主义转变到垄断资本主义这样一个强大的社会原因。列宁说：“竞争变为垄断。结果生产的社会化有了巨大的进展。特别是技术发明和改良的过程，也社会化了。”这精辟地指出了，从 19 世纪 70 年代开始，随着自由资本主义转化为垄断资本主义，科学技术就进入现代科学技术的时代，工作方式从个体劳动变为集体劳动，科学技术工作社会化了。

在这样一个转变过程中，劳动的集体化和社会化是和资本主义的私有制根本[280]矛盾的。就是爱迪生这样—个现代化的研究所在它诞生的头一天开始，这个矛盾就出现了。本来爱迪生研究所的工作是集体的劳动。但是在资本主义制度下这样一个集体的劳动只能归功于一个人，就是老板爱迪生、这是资本主义制度和现代科学技术社会化劳动的一个根本矛盾、

以后，由于垄断资本主义的发展，垄断资本家的需要，从爱迪生的这个研究所开始，大规模的科学技术研究所就纷纷成立起来，所有的垄断公司都有研究所，有的还不止一个。这种趋势从本世纪 40 年代起，又有了进一步的发展。第二次世界大战前后，由于战争的需要，武器发展的需要，科学技术的研究工作又进一步扩大到可以说是国家的规模。飞机研究工作、雷达研究、火箭研究、原子能研究是这样的，原子弹、氢弹、导弹、人造卫星、宇宙飞船的研究更是这样的。所谓国家的规模，就是说，要完成这些新式武器的研制，绝不是爱迪生那时的 100 人或几百人，也不是 1000 人、2000 人可以做到的，而是要把一个国家的科学技术力量组织起来，用几万人的集体来解决问题。从 100 人到 10000 人，增加了 100 倍，这就是规模的变化。到现在，科学技术发达的国家，每年花在科学技术上的钱要占国民生产总值的 1％以上，像美苏两霸更是争夺激烈，疯狂备战，他们的科学费用很多，是和研制新式武器联系起来的，在美国差不多占国民生产总值的 3％，在苏联比例就更大了，恐怕要占 5％～6％。就是在其他资本主义科学技术发达的国家，也以占国民生产总值的 2％来计算，这是很可观的。这种情况是历史上从来没有过的。

不管资本主义国家的科学技术怎么发达，它有治不了的病，这病就是资本主义社会化的劳动和资本主义私有制的矛盾，像爱迪生研究所这样的事，在资本主义国家是每天每时每刻都在发生着。比如，1969 年 7 月美国“阿波罗十一号”登月飞行成功以后，美国总统尼克松要论功行赏，表彰一部分人。这一表彰不得了，因为本来是几十万工人、科学技术人员和行政人员集体的工作，硬要抓几个人，说是他们的功劳。结果表彰以后，几十名在登月飞行中做过工作的科学家、工程师不满意，撂挑子跑了，不干了。这说明，这个矛盾他们解决不了。资本主义国家的科学技术越发展，规模越来越大，内部矛盾就越解决不了。只有在社会主义制度下才能够解决这个问题，在我们国家里，有马列主义毛泽东思想的指引，有符合科学技术本身发展规律的路线和政策，党的正确领导和国家的组织、管理，我们能够不断克服前进中的困难和纠正工作中的错误，能够解决这个问题。因此，我们国家科学技术发展的速度一定要比他们快，尽管现在落后一段，但我们终究要赶上、超过资本主义国家，这是历史的必然。[281]

三、现代科学技术走向严密的体系

从 19 世纪下半叶开始，“经验自然科学获得了巨大的发展和极其辉煌的成果，甚至不仅有可能完全克服 18 世纪机械沦的片曲性，而巳自然科学本身，也由于证实了自然界本身中所存在的各个研究部门（力学、物理学、化学、生物学等等）之间的联系，而从经验科学变成厂理论科学，并且由于把所得到的成果加以概括，又转化成唯物主义的自然认识体系。”[3]现代科学技术不单是研究一个个的事物、一个个现象，而是研究这些事物、现象发展变化的过程，研究这些事物相互之间的关系。今天，现代科学技术已经发展成为一个很严密的综合起来的体系，这是现代科学技术的一个很重要的特点。1978 年，中国科学院主持讨论自然科学学科规划，提出有六门基础学科：天文学、地学、生物学、数学、物理、化学。但是，从严密的自然科学综合观点，可以再综合成两门学问，一门是物理，研究物质运动基本规律的学问。一门是数学，指导我们推理和演算的学问。其他的学问都是从这两门派生出来的。知道了物质运动的基本规律，然后加工推理演算，就可以得出所有其他的学问。

比如化学，它实际上是研究分子变化的物理。20 世纪初有了原子和分子的物理学，20 年代中又出现了量子力学，它是研究原子这个物质世界里运动规律的理论，化学的变化实际上就是原子结合的变化。所以，量子力学出现以后，很快应用到化学问题上，出现了所谓量子化学这门学问，使化学变作了应用物理的一门学科。近来，由于高速电子计算机的出现，使人们能够解决人所不能计算的问题。所谓不能计算，就是时间有限，人的一辈子也计算不清。现在有了电子计算机，就可以很快地计算出来。以前不能解决的问题，不是理论上不能，而是时间不够，算不清楚。现在有了电子计算机，就可以算了。所以，现在又出现了所谓计算化学。从前人们一讲到化学，好像就是用瓶瓶罐罐作试验，现在由于掌握了原子内部运动的规律性，又有了电子计算机，就可以靠电子计算机去计算，不去靠做试验了。将来有朝一日化学研究主要靠电子计算机算，而且可以“设计”出我们要的分子，“设计”出造这种分子、化合物的化学过程。到那时做化学试验，只是为了验证一下计算的结果而已。

再说天文学。现在的天文学已经不是光看看月亮、太阳、星星在天上的位置和它的运行规律了，而是要研究星星内部到底是怎么样变化的，它现在是怎样的，过去是怎样的，将来又会是怎样的，它是怎样演化的。我们要研究的是宇宙的演化。比如研究太阳内部、其他恒星内部，人又去不了那个地方，怎样研究呢？一是研究可见光，把可见光分成各种不同频段的光谱，来进行研究。现在不但研究

可[282]见光，还研究天体辐射的红外线、无线电波、以至波长非常短的紫外光、爱克斯光和伽马射线。这样一研究，就发现天文学可是热闹。从前我们看到日月星辰，好像它们的变化是察觉不到的，可是现在就不然了，天上可是热闹得很，有星星的爆发，一个星星变成氢弹，爆炸了，释放出 10 万亿亿个氢弹爆炸的能量。现在还发现，不但一个星星可以爆发，一个星系，像我们的银河星系，它的中心也会爆发，一旦爆发能释放出亿亿个恒星爆发的能量。一颗恒早爆发的过程，大概是一个月，几个月。古书上说有一种星星叫客星，实际上就是星星的爆发。现在发现还有一些变化更快的现象，如中子星，是由中子组成的，密度非常大，由中子组成的一个芝麻大的物质有几百万吨重。中子星是很小的一个星，比太阳小得多，转得很快，转的时候发出强度变化的爱克斯光。变化周期不到一秒钟，有的时候一秒钟变几十次，快得很。还有一种星，密度更高，引力场特别强，强到光线都射不出来，黑洞洞的，所以外国人给它一个名字叫“黑洞”。这个名词不太好，因为它并不是什么洞，是有物质在那里，似乎可以叫“陷光星”。既然光都出不来，怎么知道它在哪里呢？就是当其他的物质掉进去时，在坠落过程中，即还未达“星”前，它要发光，发出爱克斯光。从上面讲的一些天文学里的东西，可以看到，没有物理，天文学怎么能够理解？所以天文学也是靠物理。

再说地学。地学就是研究地球，实际上现在也是搞物理。有一位地学家讲：地学有三个时代，第一个时代是 18 世纪末到 20 世纪初。这时研究地质年代引用了生物观念，也就是化石观念，用生物化石可以断定地层年代，因为全世界都有生命的存在，这个地层有这种生物的化石，另外一个地层也有这样生物的化石，就可以判断出这不同的地层是属于同一时代的。这位地质学家把它称为生物学地球观，因为是把生物的概念运用到地学上来。到了 20 世纪初，又开始研究地壳里、海洋里化学成分的变化，地层的化学成分是怎样从一个地方慢慢变化，从一处渗透到另一个地方去；一个地方岩石的成分怎样受到火山的作用，又起了什么变化？这就是研究各种元素在地球上的分布和变化，从这里推论地球在地质年代中的变化。所以这位地学家说，本世纪初年以后就出现了化学的地球观，就是从化学的角度来看地球。最后，到了现在，地学上一个最大的发展就是所谓板块理论，就是说，地球的大陆和洋底都是一块一块拼起来的。地壳是硬的，但不是整块的，是好多块拼起来的，就像七巧板似的。块和块之间有相互作用。这就可以解释火山带、地震带的形成。这是根据海底岩石地磁走向推论出来的。一个大板块里还有小的断裂带、断层，这就是更复杂的组合，像很多很小的七巧板凑起来的。这一些，加上研究地球深处的情况，都要靠物理学，所以这位地学家说，现在是物理学地球观。这样，地学又归到物理学去了。

再说生物学。半个世纪来，生物学有很大的变化和发展。这种迅速发展的泉[283]源是分子生物学。分子生物学要研究的倒不是细胞、细胞核、细胞质、细胞膜，而是要研究生物体内脱氧核糖核酸和蛋白质这类大分子物质的结构和功能。最近，分子生物学上轰动世界的发现，就是可以把传递遗传信息的物质——脱氧核糖核酸从一种生物体的细胞中提出来，切成片段，在分广水平上使两种生物的遗传信息重新组合，然后通过一种中间物质的运载，引入到另一种生物的细胞中去，人工地改变细胞的遗传结构。这种分子水平的“杂交”，可以创造天然没有的新物种，它可以在动物和植物之间进行，从而打破植物和动物的界限。当然，现在这方面的工作还是在一个很粗浅的水平上。比如，胰岛素，它是治疗糖尿病的特效药。人和动物都产生胰岛素。胰岛素本身是一种高分子物质。化学生产很困难，以前靠从家畜屠宰后的胰腺去取，来源很少。但是，现在可以把产生胰岛素的胰腺细胞物质的遗传信息切下来，接到大肠杆菌的遗传物质上，而大肠杆菌是最容易培养的一种细菌，增殖速度很快，这样造出新的大肠杆菌，大量繁殖，就可以大量制造胰岛素，使胰岛素生产工业化。这仅仅是一个例子，这就是说，生物学已经到了分子水平，实际上国外许多从事分子生物学的人，本身就是物理学家。生物学到了分子水平，生物学也就归结到物理上去了。

所以，天、地、生、化这四门科学，从现代科学技术观点讲，都可以归结于物理学的分支了。当然，这里要推理演算，就要用数学，数学是一个工具。恩格斯说的整理材料的科学到现在已经有 100 年的时间了，现代科学技术更综合了，体系更严密了，根本学问只有这两门：物理学和数学。数学，顾名思义是算，但实际上数学不光是算，还是“辩证的辅助工具和表现方式”。这是说天、地、生、数、理、化这六门基础学科在科学技术的体系中并不是完全同排并坐的，其中数学和物理又是其他四门学科的基础。在此之上是各种分支学科；然后是各种技术科学；再上面是工程技术和生产技术如电力技术、电子技术、农业技术以及医学等。这就是现代科学技术的体系构成。这里面基础学科为应用科学技术提供了理论基础，基础科学和应用科学技术是指导生产实践的，而生产实践不但为科学技术的研究提供了必不可少的设备、仪器，同时又是科学技术中好多道理的源泉。

四、现代科学技术的整体结构

前面讲的还着重于自然科学技术领域内的体系化，而在 19 世纪中叶，由于科学的社会主义的创立，真正科学的社会科学诞生了，也建立了指导一切科学研究的马克思主义哲学。这就形成了一个新的结构：两大门类，自然科学和社会科学；在两大门类之上，有马克思主义哲学，作为人类知识的最高概括。到了 20 世纪

40 年代以后，数学方法越来越用于社会科学的研究，所以把数学再放在自然科学之[284]内也就不妥当了，独立成为一大门类，数学科学。

所以，一方面是分化，成立新的部门；一方面又形成体系，严密的结构。到现在认识到的现代科学技术体系，在纵的方向分为九大部门：自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学、人体科学、军事科学、文艺理论和行为科学。这比马克思、恩格斯时代是大大发展了，那时称得起科学的只有自然科学，而且还包括数学；作为科学的社会科学是马克思、恩格斯首创的，还来不及确立。而今天我已可以列出九大部门，这是人类认识和改造世界的伟大成绩。当然历史不会就停留在这点上，将来的科学技术还要发展，会出现新的部门和新的层次。

这九个部门的划分不是研究对象不同，研究对象都是整个客观世界，而是研究的着眼点，看问题的角度不同。例如，自然科学是从物质在时间空间中的运动，物质运动的不同层次，不同层次的相互关系这个角度去研究整个客观世界。又如，思维科学是从人脑通过思维认识整个客观世界这个角度去开展研究的。人体科学是从人体结构和功能在受整个客观世界的影响和相互作用的角度去开展研究的。军事科学的研究今天早已不限于战争，而是从矛盾斗争的角度去研究整个客观世界，包括"科技战","智力战"，还有"商战"。文艺理论是研究整个客观世界吗？是的，它是从美的角度去研究的。行为科学是从个人与社会的相互作用这个角度去研究整个客观世界。以上说到社会的地方都可能引起一个问题：社会能涉及整个客观世界吗？是的，整个客观世界。请看：在短短的几百年前，我们还不知道有地球呢，现在不但人的活动已经要考虑整个地球，从地下到天上以至到太阳系……所以说整个客观世界是合理的。

现代科学技术的九大部门要概括到马克思主义哲学，其核心是辩证唯物主义。要概括到辩证唯物主义要通过一架桥梁，联系自然科学的是自然辩证法；联系社会科学的是历史唯物主义；联系数学科学的是数学哲学或元数学；联系系统科学的是系统论；联系思维科学的是认识论；联系人体科学的是人天观；联系军事科学的是军事哲学；联系文艺理论的是美学；联系行为科学的是社会论。一个马克思主义哲学、九架桥梁、九大部门，这是现代科学技术体系的纵向结构。横向也有结构，就是基础科学、技术科学和工程技术三个层次。

认识现代科学技术的体系结构，是学习掌握认识世界和改造世界学问的锐利工具。这里还必须强调马克思主义哲学其基础的九架桥梁是指导我们认识客观世界和改造世界的。当然，哲学不是死教条，现代科学技术九大部门的发展也必须通过九架桥梁发展和深化马克思主义哲学。把马克思主义哲学放在科学技术整个体系的最高层次也说明了马克思主义哲学的实质：它绝不是独立于现代科学技术

之外的，它是和现代科学技术紧密相连的。也可以说，马克思主义哲学就是全部科学技术的科学，马克思主义哲学的对象就是全部科学技术。这里强凋这个[286]观点是为了能和大家一道去克服目前存在的两个毛病：一是做学问死守一个小摊摊，关起门干，从不看看外面的世界；二是不学哲学．以为马克思主义哲学是与己无关的！

五、掌握认识世界和改造世界的学问

现代科学技术除了上面讲的广度，从整个现代科学技术体系看广度之外，还有一个深度问题。为了举实例看看现代科学技术的深度，我们说说宇宙物质结构的大层次。宏观与微观有区别，地球、汽车、人等等是宏观物体，它们的运动服从牛顿力学。但再大范围或运动速度大到接近光速，如银河星系的运动，牛顿力学不行了，要用爱因斯坦的相对论力学，这就是宇观，比宏观更上一个层次。在宏观层次以下是微观，小到原子、基本粒子，小到 10^{-15}厘米，这要用量子力学。前些年我们还以为物质世界是宇观、宏观、微观三个层次，但现在不同了。英国爱丁堡大学物理学家希格斯（P. W. Higgs）为了解释一些基本粒子现象，发现必须更深入到物质结构再下一层次，尺度小到 10^{-34}厘米，比 10^{-15}厘米的微观层次再缩小 10^{19}倍！这是一个新世界，可以称之为“渺观”，要用新理论。不但如此，在宇观层次之上也有新发展，宇宙学研究现代望远镜和其他手段所能探测到的近 200 亿光年范围的物质运动，六年前一批搞宇宙学的科学家，在改正以前的所谓“宇宙大爆炸理论”，提出新的理论，叫“宇宙膨胀论”，说明我们所在的宇宙有其特点，我们这个世界之存在也与它的特点有关，我们所在的宇宙之外还有其他与我们所在宇宙不同的宇宙。这可是大开眼界，物质世界还有比宇观层次更高的层次，可以称之为“胀观”。这样从小开始，渺观、微观、宏观、宇观、胀观五大层次，从下一个层次升到上一个层次尺度放大 10^{19}倍，1000 亿亿倍，从上一个层次降人下一个层次尺度缩小 10^{19}分之一，1000 亿亿分之一！估计五大层次也不会不动了，将来随着人认识世界的进一步深入，会有比胀观更高的层次，也会有比渺观更深的层次。这种科学探索已经深入到世界的本源问题，以前非马克思主义哲学家提出的本体论也就从古老的哲学分化出来，进入自然科学了。所以，现代科学技术的深度也是惊人的。

科学技术是不是认识客观世界和改造客观世界的学问？当然是，但认识客观世界、改造客观世界的学问远不止于科学技术。我们现在有马克思列宁主义的正确指导，有了 100 多年全部科学技术的高速发展的丰硕成果，不只是自然科学和工程技术，不只是那么多少项新的技术革命。

现代科学技术既然有这样的广度和深度，它是不是包括了所有人类从实践中得到的知识呢？不，没有。人类掌握的知识远比现代科学技术整个体系还大得多。例如：局部的经验，专家的判断，行家的手艺，文艺人的艺术，点滴知识和零金[286]碎玉等都是宝贵的知识，但还未纳入现代科学体系，还不是科学。一个突出的例子是中医医药学。中医理论是祖国几千年来实践经验的总结，非常珍贵，要发展我国传统医药是万万不能丢掉中医理论的，，但呻，医理论现在还放不进现代科学技术体系中去，还不能称之为现代科学。它是有用的知识，这种不是科学但是有用知识的宝贝还很多，我们不妨称之为“前科学”，也可以说前科学的量远大于科学技术的量，科学技术的发展总是不断地把前科学变成科学，同时也发展和深化了科学技术本身。前科学逐渐进入科学技术体系，前科学会慢慢消失吗？不会的，人在继续实践，会不断积累新经验，生产新的前科学。

如果我们掌握了认识客观世界和改造客观世界这么大的学问，可以相信，建设社会主义现代化强国的任务再艰巨也能完成。

本文取自由钱学森（主编）、吴义生（副主编）合编的中共中央党校附设函授学院教材:《现代科学技术的知识和我国科技政策》(1985 年)。

参考文献

[1] 《马克思恩格斯全集》第 33 卷第 82 页，人民出版社，1973 年 12 月。
[2] 《马克思恩格斯选集》第 4 卷第 407 页，人民出版社，1972 年 5 月。
[3] 恩格斯：《自然辩证法》第 175 页，人民出版社，1971 年 8 月。
[287]

系统工程与系统科学的体系

钱学森

系统工程是个新生事物，所以大家对其涵义、范围等说法不一。当然，一个问题大家意见不同，并无坏处，可以交流讨论，互相启发，认识可以因而深化。我们搞科学技术应该用马克思主义哲学为指导，因此考虑问题一定要从马克思列宁主义、毛泽东思想的立场、观点和我国的实际出发，不能一味跟外国人走。他们搞不清的，我们应该努力搞清楚，他们不明确的，我们要讲明确，而且要力求符合大道理。

一、系统思想和系统工程

首先应该搞清楚“系统”这个概念。系统作为一个概念既不是人类生来就有，也不是像有些外国人讲的那样，是20世纪40年代突然出现的东西。

系统概念来源于古代人类的社会实践经验，所以一点也不神秘。人类自有生产活动以来，无不在同自然系统打交道。古代农事、工程、医药、天文知识等方面的成就，都在不同程度上反映了朴素的系统概念的自发应用。人类在知道系统思想和系统工程之前，就已经在进行辩证地系统思维了。朴素的系统概念，不仅表现在古代人类的实践中，而且在古中国和古希腊的哲学思想中得到了反映。用自发的系统概念考察自然现象，这是古代中国和希腊唯物主义哲学思想的一个特征。古代辩证唯物主义的哲学思想包含了系统思想的萌芽。

在国外，有那么一些人一说到系统工程中的系统，总好像是20世纪的新发现，是现代科学技术所独特的创造。这在我们看来，自然不能同意，因为局部与全部的辩证统一，事物内部矛盾的发展与演变等，本来是辩证唯物主义的常理，而这就是“系统”概念的精髓。以前在科学技术中不注意系统概念的运用，正是受了科学技术早年历史的影响。恩格斯就讲过：“旧的研究方法和思维方法，黑格尔称之为‘形而上学’的方法，主要是把事物当作一成不变的东西去研究，它的残余还牢牢地盘踞在人们的头脑中，这种方法在当时是有重大的历史根据的。必须先研究事物，而后才能研究过程。必须先知道一个事物是什么，而后才能觉察到这个事[288]物中所发生的变化。自然科学中的情形正是这样。认为事物是既成的东西的旧形而上学，是从那种把非生物和生物当做既成事物来研究的自然科学中产

生的。而当这种研究已经进展到可以向前迈出决定性的一步，即可以过渡到系统地研究这些事物在自然界本身中所发生的变化的时候，在哲学领域内也就响起了旧形而上学的丧钟。”[1]恩格斯还把这一认识上的飞跃称为“一个伟大的基本思想，即认为世界不是一成不变的事物的集合体，而是过程的集合体。”[2]这里，恩格斯讲的集合体不就是我们讲的系统吗？恩格斯强调的过程，不就是我们讲的系统中各个组成部分的相互作用和整体的发展变化吗？而恩格斯的这些光辉论述写于1886 年初，距今已经 100 年了！

其实，马克思、恩格斯、列宁和毛泽东同志的著作中还有许多这方面的论述，我们现在搞系统工程一定要熟悉这些论述，将其作为强大的理论武器。我们要认识到系统这一概念，来源于人类的长期社会实践，首先在马克思主义的经典著作中总结上升为明确的思想，而绝不是什么在 20 世纪中叶突然出现的。

什么叫系统？系统就是由许多部分所组成的整体，所以系统的概念就是要强调整体，强调整体是由相互关联、相互制约的各个部分所组成的具有特定功能的有机整体，而且这个“系统”本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。系统工程就是从系统的认识出发，设计和实施一个整体，以求达到我们所希望得到的效果。我们称之为工程，就是要强调达到效果，要具体，要有可行的措施，也就是实干，改造客观世界。

系统有自然界本来存在的系统，如太阳系，如自然生态系统，这就说不上系统工程；系统工程是要改造自然界系统或创造出人所要的系统。而现代科学技术对系统工程的贡献在于把这一概念具体化。就是说不能光空谈系统，要有具体分析一个系统的方法，要有一套数学理论，要定量地处理系统内部的关系。而这些理论工具到 20 世纪中叶，即 40 年代才初步具备；所以系统工程的前身，即 operations analysis，operations research 到 20 世纪 40 年代才出现。当然系统工程的实践一旦产生实际效果，社会上就有一股强大的力量推动它发展，因此也就促使系统工程理论的发展，理论与实际相互促进。现代科学技术对系统工程的又一贡献是电子计算机。没有电子计算机的巨大计算能力，系统工程的实践将几乎是不可能的；系统工程的许多进一步发展还有待于性能更高的计算机的出现。这就是系统工程的历史：马克思主义先进思想所总结出的系统概念孕育了近 60年的时间，到 20 世纪中叶才终于具备了条件，开出了一批花朵。要获取丰硕的果实，尚有待于我们今后的精心培育。

系统工程是工程技术，是技术就不宜像有些人那样泛称为科学。工程技术有特点，就是要改造客观世界并取得实际成果，这就离不开具体的环境和条件，必须[289]有什么问题解决什么问题；工程技术避不开客观事物的复杂性，所以必然

要同时运用多个学科的成果。一切工程技术无不如此。例如水力工程，它要用水力学、水动力学、结构力学、材料力学、电工学等，以及经济、环境、工农业生产等多方面的知识。所以凡是工程技术都是综合性的，综合性并非系统工程所独有。有人说系统工程是“高度综合的”，这一说法也许由于系统工程综合了人们本来认为好像不相关的学科，一旦习惯了，也可以把“高度”这两个字省略。

系统工程是一类包括许多门工程技术的一大工程技术门类。因而各门系统工程都是一个专业，比如工程系统工程是个专业，军事系统工程是个专业，企业系统工程是个专业，信息系统工程是个专业，经济系统工程（社会工程）是个专业；要从一个专业转到另一个专业当然不是不可能，但要有一个重新学习的阶段。这就如同干水力工程的要转而搞电力工程要重新学习一段时间才能胜任。既然不是一门专业，提“系统工程学”，这样一个词就太泛了。这如同说一个人专业是“工程学”，那人们会问，他专长的是哪一门工程？因此不必在系统工程这个一大类工程技术总称之后加一个“学”字，以免引起误解，好像真有一门工程技术叫系统工程学。不在系统工程后面加一个“学”字，也还有另外一个意思，那就是想强调系统工程是要改造客观世界的，是要实践的。

二、系统工程共同的直接学科基础

系统工程这一大类工程技术有没有共同的学科基础呢？如果有，又是什么呢？

（1）为了更好地回答这个问题，我们先来考虑一下工程技术和其基础理论之间的关系，也就是现代科学技术的体系。现代科学技术包括马克思主义哲学形成一个完整的体系，这已经在第二讲中阐述了。从这个现代科学技术总体系来看，系统工程是工程技术，问题是什么技术科学是其共同的理论基础？许国志、王寿云和我在《文汇报》的文章[3]中提出称这一共同基础为运筹学，我们当时也指出这是借用了一个旧有的名词，也就是国外叫operations research而我们以前把它译作运筹学的这个词。老的运筹学包括了某些系统工程的内容，如军事系统工程，那是历史的原因。我们的运筹学不包括系统工程的内容，而只包括了系统工程的特殊数学理论，即线性规划、非线性规划、博弈论、排队论、库存论、决策论、搜索论等。运筹学是属于技术科学范畴的。

自动控制是建立在系统概念上的，所以控制论也要作为系统工程的一个主要理论基础。当然我们也要看到一个具体事实：一个系统当然有人的干预，在概念上可以把人包括在系统之内，但现在理论的发展还没有达到真能掌握人在一定情[290]况下的全部机能和反应，所以把人包括到系统之中还形不成通用的理论；另

一方面，系统工程的目前水平又一般地要有人干预，包括有时要发动群众出谋献策，所以还不能一般地搞一个没有人的系统，完全自动化。由于这些原因，我们认为控制理论的大系统以至巨系统、多级控制发展是很有意义的，一定要提倡。

除了运筹学以及控制论这个系统工程的重要共同理论基础之外，又一个重要共同基础是讲信息传递理论的信息论；当然也还有计算科学和计算技术。

有的同志要把这两类各门系统工程的共同基础连同其他数学工具通称为“系统工程学”，我认为这样做不一定妥当，名字和内容不相符。因为系统工程的理论基础，除了共同性的基础之外，每门系统工程又有其各自的专业基础。这是因为对象不同，当然要掌握不同对象本身的规律：例如工程系统工程要靠工程设计，军事系统工程要靠军事科学等。这里用表把各门系统工程和与之对应的特有学科基础列出来。

（2）在下表中列了 14 门系统工程，其实还不全，还会有其他的系统工程专业，因为在现代这样一个高度组织起来的社会里，复杂的系统几乎是无所不在的，任何一种社会活动都会形成一个系统，这个系统的组织建立、有效运转就成为一项系统工程。同类的系统多了，这种系统工程就成为一门系统工程的专业。所以我们还可以再加上许多其他系统工程专业。

系统工程的专业	专业的特有学科基础
工程系统工程	工程设计
科研系统工程[4]	科学学
企业系统工程	生产力经济学[9]
信息系统工程 [5]	信息学、情报学
军事系统工程[6]	军事科学
经济系统工程	政治经济学
环境系统工程[4]	环境科学
教育系统工程[4]	教育学
社会（系统）工程 [7]	社会学、未来学[10]
计量系统工程[21]	计量学
标准系统工程[22]	标准学
农业系统工程[8]	农事学[8]
行政系统工程[8]	行政学
法治系统工程	法学

[291]

表中前一半七种系统工程大家可能比较熟悉，不需要解释。后七种系统工程中的第一种是教育系统工程，那是专门搞一所学校，一个地区的学校以及一个国家教育系统的组建、管理和运转的，它的特有学科基础是作为社会科学的教育学。

我认为宏观经济规划问题，就是社会系统工程。社会系统工程也可以简称社会工程[8]，是组织和管理社会主义建设的，也就是在中央决定一个历史时期的大政方针之后（例如现在我国要实现四个现代化），社会工程要设计出建设总图，并制订计划，规划，它特需的理论学科是社会学和未来学[10]这两门社会科学。计量系统工程和标准系统工程是搞一个地区、一个国家的计量和标准体系的，它们的组织，建立和正常执行，这在现代社会已成为非常重要的职能。包括农、林、牧、副、渔的农业，其重要性是无疑的了，但现代农业是作为一种系统工程——农业系统工程的特有理论，张沁文称为“农事学”[10]。行政系统工程是说在社会主义制度下，行政工作、机关办公完全可以科学化，加上现代档案检索技术，也可以计算机化。计算机可以拟出文件或批文草稿，可能包含几种抉择，供领导采用，它的理论也许是行政学吧。社会主义法治要一系列法律、法规、条例，从国家宪法直到部门的规定，集总成为一个法治的体系，严密的科学体系，这也是系统工程，法治系统工程，它的特有基础学科是法学。从我国目前实现四个现代化所迫切需要解决的问题来看，这后三门系统工程关系到农业发展，关系到提高行政效率，关系到加强社会主义法制，其重要性是很明显的。

当然目前系统工程概念具体化才不过十几年，只有表中头几种系统工程专业算是建立了，有了一些比较稳定的工作方法，算是有些教材可以教学生。大概从环境系统工程开始，往下这八种系统工程，有的尚在形成，有的只不过是一个设想，要靠我们今后的努力才能实现；为了四个现代化，我们一定要大力发展系统工程的各个专业。

（3）从我以上的阐述来看，系统工程可以解决的问题涉及到改造自然，改造、提高社会生产力，改造、提高国防力量，改造各种社会活动，直到改造我们国家的行政、法治等等；一句话，系统工程涉及到整个社会。所以我们面临由于系统工程而引起的社会变革绝不亚于大约 120 多年前的那一次。那是因为自然科学的发展壮大，从而创立了科学的工程技术，即把千百年来人类改造自然的手艺上升到有理论的科学，由此爆发了一场大变革。系统工程是一项伟大的创新，整个社会面貌将会有一个大改变。所以系统工程的发展是第一讲中提到的技术革命，又是一项新的技术革命。

当然，我们现在仅仅在这一过程的开端，像我们以前已经提到的那样，我们现在能够看到的只是很小的一部分，就是表中所列举的 14 种系统工程也不过是系统工程全部中的一部分。也因为同一理由，我们说到的也不一定确切，14 种系统[292]工程的划分也会在将来的实践中有调整。但更重要的一点是系统工程一定会在整个社会规模的实践中对理论提出许多现在还想不到的问题，系统工程的理论

还要大发展。这又有两个方面：一个方面是对每一门系统工程所特有而联系着的学科，正如表中所示，他们有的是自然科学或从门然科学派生出来的技术科学，但看来将会更多的是社会科学或主要从社会科学派生出来的技术科学；这里有大量的新学科。另一方面，作为系统工程的方法理论的运筹学更会有广泛的发展，因为实践会对它提出更高的要求。正如前面已经讲过的，系统工程将来一定会更多地用控制论，不但用工程控制论，而且用社会控制论。我们还要创造一些特别为系统工程使用的数学方法，特别是在统汁数学和概率论等不定值的数学运算方面。计算数学也会因系统工程实践而有某些特定方面的发展。

三、系统科学的体系结构

这样说来，系统工程所带动的科学发展是一条很广泛的战线，不是一种、几种学科，而是几十种学科。日本的科学家们提出了一个新名词，叫“软科学”。所以我们在上面说的这一大套学科技术，似乎也可以借用“软科学”这个词来概括。但我进一步考虑：从系统工程改造客观世界的实践，提炼出一系列技术科学水平的理论学科，能就到此为止了吗？要不要更概括更提高到基础科学水平的学问呢？那用“软科学”这个词就显得局限了些，深度不够。另外，要看到系统里面也有许多“硬件”，并不像“软件工程”专搞软件那么“软”。所以不宜用“软科学”这个词，我们应该回到系统这一根本概念，把整个部门的多种学科概括为一个新的现代科学技术部门，叫做“系统科学”。系统科学是并列于自然科学和社会科学的。

建立系统科学这个概念之后我们就有了一个学科的体系，可以从整个学科体系的结构来考虑问题，也就是参考第二讲提到现代科学技术体系中横向层次；直接搞改造客观世界的学问就是各门系统工程；作为各门系统工程的共同理论基础的是技术科学层次的运筹学以及控制论和信息论。什么是系统科学部门中的基础科学层次？这就是系统学。

下面就来讲，建立系统学的问题。

只从工程技术的各门系统工程和其技术科学的运筹学以及控制论去提炼还不够，还必须打开视野，要吸收贝塔朗费（L. von Bertalanffy）的一般系统论、理论生物学普利高津（I. Priogine）及其学派的远离热力学平衡态的耗散结构理论，特别是哈肯（H. Haken）的协同学理论。

（1）我们看到生物学界的发展，正如罗申（R. Rosen）在不久前的一篇论文中[11]所讲的，18 世纪以来的近代科学发展，在自然科学的研究中占主导地位的是[293]还原论和经验论的方法，或形而上学的方法，这在当时是一个伟大的进步，

是对古人的反击和革命：古代人们直观地以有机物或神灵主宰一切。然而罗申似乎忘记了从神灵到拉普拉斯的机械论之间也曾有过古代的唯物主义和辩证法；近代科学方法是从古代唯物主义发展而来的。罗申指出，近代科学的这种只重分析与实验的方法，在生物学的研究中，把生物解剖得越来越细，近 40、50 年更是攻打到了分子的层次。我们可以说把生命现象分解为分子与分子的相互作用，现在已取得了伟大的、惊人的成就，建立厂分子生物学这门有非常充实内容的科学。但在这一发展面前，也有许多生物学家感到失望，我们知道得越细、越多，反而失去全貌，感到对生命的理解仍然很渺茫，好像知道得越少了。50 年前冯•贝塔朗费比较明确地认识到这一点，他开始所谓理论生物学（theoretische biologie，1932）的研究，要从生物的整体，把生物整体及其环境作为一个大系统来研究。冯•贝塔朗费还由此创立了他称为一般系统论（general system theory）的科学[12]。还把它应用到广泛问题的研究，例如研究人的生理，人的心理以及社会现象等。

一般系统论这一学科来源于生物学研究，是一个重要发展。王兴成同志在介绍它时[13]，把其基本原则归纳为一是整体性原则，二是相互联系的原则，三是有序性原则，四是动态原则。既然一般系统论是研究系统，一、二两条基本原则是容易理解的。三、四两条基本原则有些新鲜：它们来源于观察生物和生命现象。生物有一个有条不紊的构造，而且能有目的地生长和演化。这看来是生命所特有的。生物一死，构造立即开始破坏，生长和演化也立即停止，转入分解。所以一般系统论的核心是这后两条基本原则。冯•贝塔朗费等人，首先认识到这个生命所特有的现象与物理学中热力学第二定律说的不同：热力学第二定律说一个封闭系统（同周围环境没有能量和物质交换的有限大的系统）的熵只能增加，看来越变越无序，而不是走向有序。抓住这一点，一般系统论强调系统的开放性，即系统要同周围环境有能量和物质的交换。

一般系统论的一个重要成果是把生物和生命现象的有序性和目的性同系统的结构稳定性联系起来：有序，因为只有这样才使系统结构稳定；有目的，因为系统要走向最稳定的系统结构。这个概念当然与现代科学中的控制论有关。

但是由于生物和生命现象的高度复杂性，理论生物学家搞一般系统论遇到的困难很大。几十年来一般系统论基本上处于概念的阐发，理论的具体和定量结果还很少。当然，他们抱的希望还是很高的，罗申[11]就说：“从演化的角度来看，生物学可认为是一部告诉人们如何有效地解决复杂问题的百科全书，以及解决这些问题中要避免的事项。生物学给我们提供了如何在大而成员各有不同的集体中进行合作而不是竞争的实例，从而证明这种集体合作是可能的、存在的。”（当然他在这里把合作和竞争割裂了，在生物界里，合作与竞争也是辩证地统一的。）[294]

（2）复杂系统中的结构稳定性代表着有序性，但这稳定性到底是怎么产生的呢？首先给出这方面线索的是普利高津（I. Prigogine）和由他率领的所谓比利时布鲁塞尔学派。他们在几十年的工作中，首先从平衡态热力学出发，研究了稍为偏离平衡态的热力学，从而得到处理一般不均匀物质中各种传递过程的理论。其中利用厂昂萨格（Onsager）关于传递系数的对易定理。这就是由这个学派创立的非平衡态热力学。普利高津由此再向远离平衡态的方向推进。他发现只要化学反应的速度不是大到使分子运动的速度分布比起麦克斯韦平衡态分布有过分的畸变，那么线性传递关系，也就是输运流强与物态的空间梯度成线性关系，仍然是正确的，尽管现在传递系数必须作为局部物态的函数。这就使得他们的非平衡态热力学，可以推广到远离平衡态的情况。他们由此发现了远离平衡态的稳定结构，也就是所谓“耗散结构”（dissipative structure）[14]。并认为耗散结构就是——一般系统论中要找的具有有序性的系统稳定结构。他们的系统合乎理论生物学的规定：从热力学的角度来看，系统必须是开放的。系统本身尽管在产生熵，但系统又同时向环境输出熵，输出大于生产，系统保留的熵在减少，所以走向有序。布鲁塞尔学派的这些成就把理论生物学推进了一大步，使一般系统论的有序结构稳定性有了严密的理论根据。系统自己走向有序结构就可称为系统自组织，这个理论也可称为系统的自组织理论。

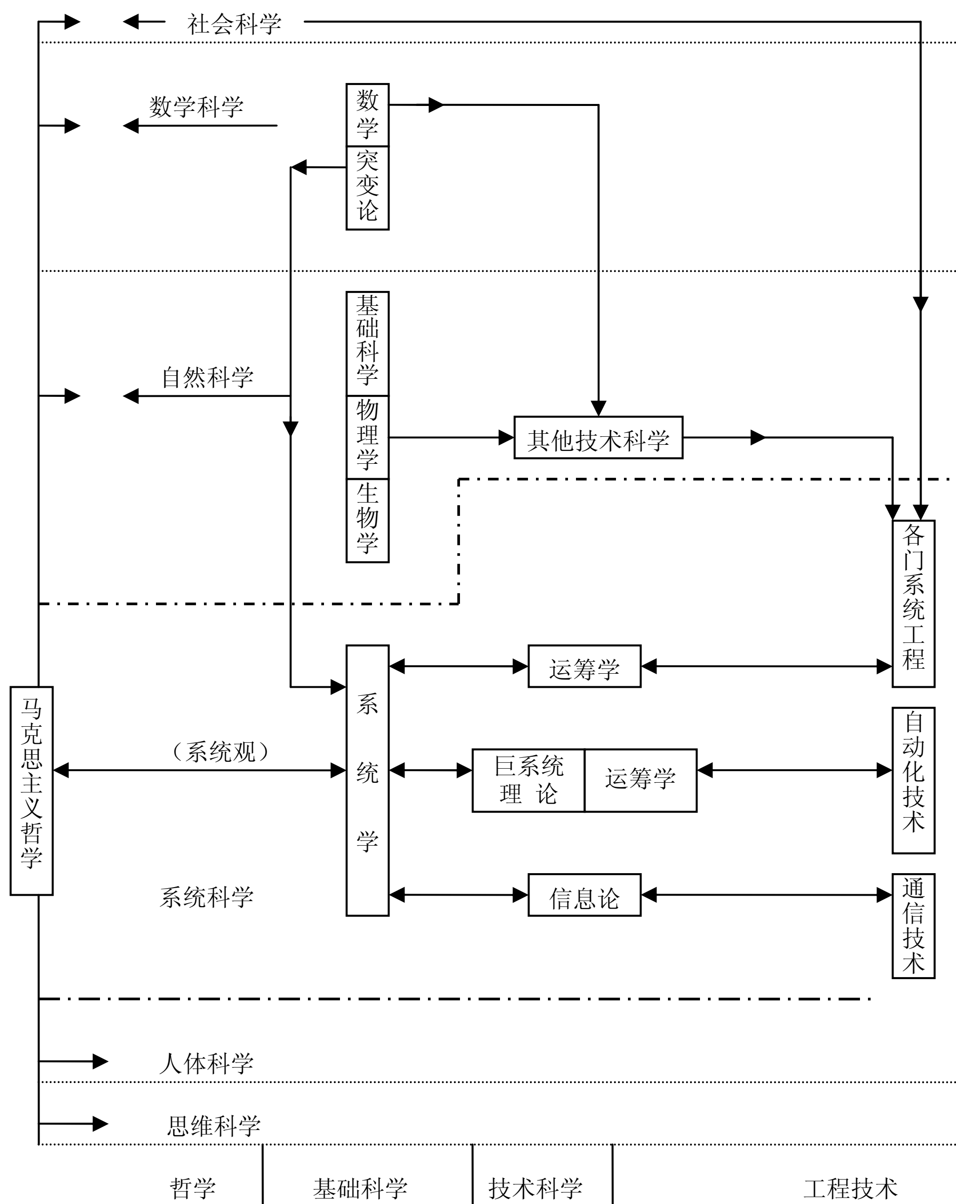
（3）但是只从热力学考虑问题，只从宏观研究问题，虽然可信，总给人以隔靴搔痒之感，不透彻。我们要深入到微观，从系统的每一个细微环节来考察全系统的运动。在这方面，从比较简单的系统做起的控制论，近年来有一个新发展，即巨系统理论。巨系统理论着重分析系统的层次结构，一级管一级，同级结构之间有一定的独立性。这诚然是个微观理论。但直接把巨系统理论用于生物，从细胞作为基层单元开始；或用于社会经济，从每个企业、每个生产队作为基层单元开始；那就要把亿万个细胞，千百万个企业、生产队，一齐进入计算分析，毕竟太繁琐，无法取得具体结果。所以直接从微观来考察系统又不实际，不现实。这一进退两难的处境，正如当年人们认识到气体由相互作用的亿亿万万个分子组成，一对分于的相互作用的规律是清楚的，就是分子太多，作为这亿亿万万分子整体的系统，气体的性质，却无法取得具体结果。我们需要一个微观过渡到宏观的理论。实现这一过渡的奥秘在于：我们其实并不需要知道每一个分子的运动才能知道作为整体的气体的性质；宏观知识不要求知道那么多细节。这一认识使 19 世纪后半叶的物理学家发展了一门新学科——统计力学，不求知道每个分子的运动，但求得到整体分子的平均行为。统计力学使得热力学这一宏观规律的学问能通过分子的微观运动来解释，微观到宏观的道路打通了。这是近代物理学的一项辉煌

成就。它给我们一个启示：在研究复杂的巨系统中，我们也要引用统计方法，才能透彻地[293]看到局部到整体的过渡，才能避开不必要的细节，把握住主要的现象。哈肯（Hermann Haken）[15]就是用这样的观点来研究系统行为的。他的工作是从 60 年代研究激光发射机理开始的。由于当时现代科学技术的多方面成果已经摆在他面前，他吸收了概率论、信息论和控制论的有关部分，并且从一些平衡态，如超导现象和铁磁现象的理论发现，有序结构的出现并不是非远离平衡不可。超导体和铁磁体的结构是一种有序结构，就连液体和固体结构也在一定程度上是有序的；而它们都可以在热力学平衡下，从无序的状态产生。哈肯还发现激光发射这种远离平衡态的系统与上述平衡态的系统，在形成系统的有序结构的机理方面是相似的，都是本系统固有的性质。这就是说关键不在于热力学平衡还是热力学不平衡，也不在于离平衡有多远，而在于下面的情况：系统的详细运动或微观描述可以用一大组联立一阶时间导数的常微分方程来表达，有多少个描述系统状态的变数，方程组的方程就有多少。对复杂的系统来说，描述系统的变数在某瞬间可以成千上万，上亿万；但不管多少，用一个坐标标出一个系统变换的值，那系统的瞬间状态总可以用这样一个许许多多互相垂直的坐标轴所形成的多维空间中的一个点来表达。这个多维空间，在统计力学中称相空间。系统随时间的变化就是这个代表系统状态的点，在相空间随时间的移动。所以如果系统自己要走向一种有序结构，那就是说代表那种系统有序结构的点是系统的目标，不管从空间的那一点开始，终归要走到这个代表有序结构的点。更复杂的情况也可以出现，有序结构不是固定不随时间变的，而是一种往返重复的振荡，那就在相空间有一个封闭的环，这个环就是系统的目标。如果还要把在有序结构点或往返重复振荡附近的随机涨落也包括进去，那就说在相空间的这种点或环是不那么清晰的，有些模糊。

哈肯的贡献在于具体地解释上述相空间的“目的点”或“目的环”是怎么出现的。他的理论阐明，所谓目的，就是在给定的环境中，系统只有在目的点或目的环上才是稳定的，离开了就不稳定，系统自己要拖到点或环上才能罢休。这也就是系统的自组织。研究相空间系统的稳定性，哈肯得力于托姆（R. Thom）的突变论。所以哈肯是综合了现代理论科学的许多成就才创立了他的系统理论的，他称他和他一起工作者的理论为“协同学”[15]（synergetics），并把它应用到物理现象、化学和生物化学现象和生物现象，甚至用到社会现象。

（4）在这里我想补充两项在我看来是很有意义的研究。首先是H. Fröhlich等人于 1967 年开始的工作，其综述见栉田孝司的文章[16]。Fröhlich认为Haken的激光器理论也可以用于生命现象，因为活体中存在着纵型电振动分支，通过代谢

给它供应能量，当能量超过某一阈值时，形成强激励下的单模相干振动，出现



系统科学的体系

长距离的相位相关。这正是活体具有极惊人的有序性的解释。他们并且从细胞膜的厚度和声波传播速度得出这种振动频率大约为 10^{10}～10^{11}赫。又因活体细胞膜

[296]活性高峰上存在着由于膜两侧纳离子和钾离子的浓度差异，而引起 10^5伏/厘米的电场强度，振动必然发生相应的电磁波。根据以上频率，电磁波应是毫米波。A. Z. Smolyanskaya和R. L. Vilenshaya正是用毫米波照射大肠杆菌后，发现大肠杆菌全盛菌素的活性与波长密切相关，有共振现象，在共振宽度仅 10^8赫左右，出现[297]活性高峰。Fröhlich[18]也和W. Grundler和F. Keilmann一起，用毫米波辐照酵母菌，发现生长速度也出现共振峰，共振宽度才 10^7赫左右。这些试验证实了Fröhlich的设想，把协同学理论直接运用于细胞繁殖现象了。

其次我要介绍的是一项更为深入而广泛的工作：M. Eigen和P. Schuster的“超循环”（hypercycle）理论[19]，这是直接建立生命现象的数学模型。他们观察到生命现象都包含许多由酶的催化作用所推动的各种循环所组成，而基层的循环又组成更高一层次的环，即“超循环”，也可以出现再高层次的超循环。超循环中可以出现生命现象所据为特征的新陈代谢、繁殖和遗传变异。Eigen等的贡献在于他们把控制论中的巨系统理论具体化到生命现象，提出了结构模型，并且通过实例，生物遗传信息的传递过程，验证了他们的模型可以复现生命现象的特征，为达尔文的进化论，即生命在生存环境中的演化，提供了科学的理论基础。

Fröhlich 的工作、Eigen 的工作以及还有其他工作都和 yon Bertalanffy，Prigogine 和 Haken 的工作一样，都是自然科学和数学科学的研究为系统科学的基础科学——系统学，提供了重要的构筑材料。这也没有说完一切可以引用为系统学结构材料的现代科学发展，例如还有与大系统和巨系统有关的一门数学理论，微分动力体系；也还有多维非线性动力体系中出现的与有序化相反的“混沌”（所谓“奇异吸引子”理论）。这都说明系统学的建立工作是一项意义重大而又十分艰巨的科学事业。

系统学的建立也会有助于明确系统的概念，即系统论。国外有些人，如А. И. Уемов[20]，称作为“一般系统论”的实际是我们这里的系统论。系统论将充实科学技术的方法论，并为马克思主义哲学的深化和发展提供素材。这也就是说人的社会实践汇总、提炼到系统科学的基础科学——系统学，又从系统学通过一座桥梁——系统论，达到人类知识的最高概括——马克思主义哲学。所以系统科学的体系可以表达如图示那样、分工程技术、技术科学、基础科学和哲学四个台阶。

系统科学体系的建立也必将影响其他现代科学技术的发展。它也将反过来促进比较早建立的科学技术部门，如自然科学和社会科学。这种变革孕育着一场 21 世纪初的科学新飞跃，即第一讲中说的科学革命。

本文取自由钱学森（主编）、吴义生（副主编）合编的中共中央党校附设函授

学院教材:《现代科学技术的知识和我国科技政策讲座》(1985 年)。

参考文献

[1] 恩格斯:《路德维希•费尔巴哈和德国古典哲学的终结》,《马克思恩格斯选集》,第 4 卷,第 240～241 页。[298]
[2] 同上,第 239～240 页。
[3] 钱学森、许国志、王寿云:《组织管理的技术——系统工程》,《论系统工程》,湖南科学技术出版社,1982 年,第 7～27 页。
[4] 钱学森:《科学学、科学技术体系学、马克思主义哲学》,同上,第 203～219 页。
[5] 钱学森:《情报资料、图书、文献和档案工作的现代化及其影响》,同上,第 87～98 页。
[6] 钱学森、王寿云、柴本良:《军事系统工程》,同上,第 40～72 页。
[7] 钱学森、乌家培:《组织管理社会主义建设的技术——社会工程》,同上,第 28～39 页。
[8] 张沁文、钱学森:《农业系统工程》,同上,第 121～136 页。
[9] 于光远:《关于建立和发展马克思主义"生产力经济学"的建议》,草稿。
[10]沈恒炎:《一门新兴的综合性学科——未来学和未来研究》,《光明日报》,1978 年 7 月 21 日、22 日、23 日。
[11]Rosen R,Int. L General Systems,5(1979)173。
[12]vonBertalanffyl,GeneralSystemTheory,G. Braziller(1968)。
[13]王兴成:《系统方法初探》,《哲学研究》,1980 年第 6 期,第 35 页。
[14]Glansdorff P.,Prigogine I.,*Thermodynamic Theory of Structure,Stabilityand Fluctuations*,Wiley(1971);沈小峰、湛垦华,《自然辩证法通讯》,1980 年第 1 期,第 37 页。
[15]哈肯,H:《协同学》,原子能出版社,1984 年。
[16]栉田孝司,レーザー研究,1979 年(7 卷)第 3 期,第 241～250 页,译文见《国外激光》,1980 年 9 期,第 1～7 页。
[17]AZ. Smolyanskaya,R.L.Vilenskaya,SovietPhys. Uspekhi,16(1974)571。
[18]W. Grundler,F. Keilmann,H. Frbhlich,Phys. Letters 62A(1977)463。W. Grundler,EKeilmann,H. Fr6hlich,Z. Natu. fisch. 33C(1978)15。
[19]M. Eigen,P. Schuster,Natur~vissenscharten,64(1977)541,65(1978)7,65(1978)341。
[20]А. И. Уемов,原作见 Природа,11,1975;译文见《世界科学(译刊)》,1980 年,第 12 期、44 页。
[21]钱学森:计量系统工程。全国计量工作会议上的发言稿,1978 年 12 月 26 日。
[22]钱学森:标准化和标准学研究,《标准化通讯》,1979 年第 3 期。

大系统理论要创新

钱学森

关于“大系统控制论”问题，我谈四点看法。

第一，研究大系统的控制理论是十分必要的，这是因为在我们建设社会主义的改造客观世界的伟大实践中，许多问题涉及到大系统的控制理论。涂序彦教授把这门学问称为“大系统控制论”，这就明确了大系统控制论是一门技术学科，是介乎于系统科学的基础科学——系统学和系统科学的工程技术——系统工程之间的技术科学，也是控制论的一个组成部分，是对控制论的一个发展。

第二，在解决大系统的系统工程问题时，要注意利用不能称之为“科学”的人的知识和经验。例如，祖国传统医学——中医理论，虽然它不是科学，不属于现代科学体系，但它是知识，是非常重要的知识，是我国的珍宝，它的实际用处是很大的。我非常赞成涂序彦教授提出的，在解决大系统的系统工程问题时，直接引用一些经验的知识，利用专家系统的办法，这在控制论中是一个突破。当然这在华中工学院邓聚龙教授倡导的“灰色系统”中已经有了苗头和征兆，“灰色系统”也有经验判断的因素。

第三，大系统控制论作为一门技术科学，它的目的就是为了联系实际，解决实际问题。而解决实际问题，就不会限于哪一门学科，就必须出现交叉科学。我提议要运用大系统控制论及其他学科理论，建立国家宏观社会经济模型，理论联系实际，为国家现代化建设做出成绩来。这在资本主义国家，限于社会制度以及由社会制度所引起的人们思想的局限性，是不可能真正做到的。

最后，大系统控制论作为一门技术科学，还应该接受系统科学的基础科学——系统学的指导，还要注意研究巨系统理论中的协同学、超循环理论、耗散结构等等，这对研究大系统控制论是会有启发的。我建议，搞大系统理论的同志要同物理学家合作，交换意见，吸取营养，打开眼界。也可以从此搞清大系统与巨系统的区别，大系统控制论是不能直接用来解决巨系统问题的。

本文是在北京钢铁学院召开首届“系统科学与优化技术”学术讨论会上的发言。原载《系统工程理论与实践》1986 年第 1 期。

［300］

用系统科学方法使历史科学定量化

钱学森　沈大德　吴廷嘉

现在，历史学家们在讨论历史科学作为一门古老的学科。如何跟上社会改革的步伐，为建设具有中国特色的社会主义作出应有的贡献。我们通过这篇文字也想进一步讨论这个问题，并求教于同志们。

历史科学的总方向和具体工作的困难

我们认为，要把历史学变为一门科学，总的方向是明确的，这早在一百多年前就解决了：历史科学必须用马克思主义哲学作指导，必须遵循历史唯物主义的原则，否则就称不上科学。就这一点而言，引用列宁在《卡尔•马克思》中的一段话，我们以为是相宜的。他说：马克思"发现唯物主义历史观，或更确切地说，彻底发挥唯物主义，把唯物主义运用于社会现象，就消除了以往一切历史理论的两个主要缺点。第一，以往一切历史理论，至多是考察了人们历史活动的思想动机，而没有考察产生这些动机的原因，没有发现社会关系体系发展的客观规律性，没有看出物质生产发展程度是这种关系的根源；第二，过去的历史理论恰恰没有说明人民群众的活动，只有历史唯物主义才第一次使人们能以自然历史的精确性去考察群众生活的社会条件以及这些条件的变更。马克思以前的'社会学'和历史学，至多是搜集了片断的未加分析的事实，抽述了历史过程的个别方面。马克思主义则指出了对各种经济的社会形态[1]的产生、发展和衰落过程进行全面而周密的研究的途径，它考察了一切矛盾趋向的总和，并把这些趋向归结为可以确切判明的社会各阶级的生活和生活条件，排除了人们选择某一'主导'思想或解释这个思想时所抱的主观态度和武断态度，揭示了物质生产力的状况是所有一切思想和各种趋向的根源。人们自己创造自己的历史，但人们即人民群众的动机由什么决定，各种矛盾思想或意向间的冲突由什么引起，人类社会中所有这些冲突的总和究竟怎样，造成人们全部历史活动基础的物质生活生产的客观条件究竟怎么样，这些条件发展规律又是怎样——马克思对这一切问题都注意到了，并指出以科学态度研究历史的途径，即把历史当作一个十分复杂并充满矛盾但毕竟是有规律的统一过[301]程来研究的途径。[2]

这一段话已经把历史科学的总方向和原理讲得非常清楚，那么为什么马克思主义历史学家经过这么长的时间，还在讨论历史科学如何具体开展工作，而且还一时难于定论呢？

我们认为有以下五个方面的困难：

第一，正如列宁指出的，马克思以前的历史学家没有历史唯物主义的指导；马克思以后的历史学家能掌握运用历史唯物主义的，就全世界来说，终究是极少数。所以几千年的历史记载，绝大多数只能作为研究的素材，首先要经过一番仔细的考证、核对，才能得到确实有据的历史事实。这项工作，量非常大，直到现在也远没有做完。

第二，历史研究的素材，除了书籍记录之外，当然还有考古发掘所揭示出来的历史遗迹。这些遗物遗迹有一个优点，就是老老实实，不会说谎。但缺点是它本身是死的，不能讲出事物之间的关系，这种关系要由考古学家去研究、分析和判定。古物的发现、发掘、鉴定和研究，工作量也非常大，直到如今也远远没有做完。

第三，即使史籍的内容经过考核了，古物古迹经过分析研究，那也只能是作为整个社会发展运动中的点滴材料，最多也不过是一个侧面。我国史书中以大量篇幅记载了帝王将相、英雄人物、文人学士的作为，也不过是社会的一个投影。而历史科学所探求的不是什么侧面，不是什么投影，更不是点滴素材。我们要认识的是社会发展的规律，整个历史运动的规律。

第四，历史是“一个十分复杂并充满矛盾”的“统一过程”。怎样把千头万绪的史实素材连结成一个“统一过程”？这是一件非常繁难的工作，只凭史学家用脑子是远远不够的，问题的复杂程度超出了人脑思维的容量。但过去的所有科学方法没有能提供一个可用的综合分析途径。

第五，传统的历史研究手段长期停滞在手工操作的水平上，史料的搜集、整理、分析，主要依靠史学工作者个人的力量，研究的视野比较狭隘，方法比较简单，科研组织工作也远远未能实现社会化。显然，这种科研方式难以适应史学研究本身的特点和要求，也难以适应现代社会对历史学的要求。

以上五点，我们认为就是开展马克思主义历史科学具体研究时所遇到的实际困难。马克思主义的史学理论，为史学研究提供了严整的科学的历史观以及基本理论原则和方法，使史学研究能够循着正确的方向发展，这也就是马克思主义史学至今仍然保持着蓬勃生命力的原因所在。但是，上述的五个问题说明，把马克思主义史学理论的基本原则，转化为具体的研究方法和手段，还是一个艰苦的过程，它受着时代和科研总体水平的制约。传统的手工操作的研究方式，无法实现

马克思主义史学理论对研究工作的要求。[302]

新方法的形成

前面讲的历史科学工作的五个困难，最根本的是第四条。历史体系过于复杂，需要考虑的因素太多，人脑很难进行全面的综合分析。如果要解决的问题是一个局部的小问题，比较简单，人的思维还是能引出答案来的。为了说明这一点，我们举以下几个例子。

第一个例子是在普法战争的时候，恩格斯常常在报章上发表关于战争发展趋势的评论。有一次他预见过几天就要发生一次战斗，并且预见到它的结果，判断出两方谁胜谁负。恩格斯立即写了一篇文章，用当时最迅速的通信方法送到伦敦《派尔—麦尔新闻》发表。这场战斗的结果，与恩格斯的预见完全一致[3]。那么，恩格斯是不是有什么特殊的消息渠道，从而得知对峙两军指挥员的意图了呢？没有。恩格斯知道的也就是报纸上公开刊登的消息。但是他熟谙历史唯物主义，而且对军事理论造诣很深。因此他能够运用这些知识先建立一个战场发展的理论框架，然后把报纸等公开消息中的点滴素材，安放在框架相应的位置上，这也就明确了其相互关系。如果因果关系在框架中不十分合适，再进行调整。最后整个框架包含的内容都形成一个完整的总体，战斗的结果也就显示出来了。

第二个例子是希特勒追查泄密事件。1935 年，正当法西斯德国的战争机器开始加速运转的时候，有一个名叫雅各布的德国新闻记者，写了一本小册子，具体地记载了当时德军的情况，包括德军的组织机构、参谋部的人员，各个军区的情况、指挥人员，列举了 168 名指挥员的姓名和简历。希特勒知道后，大发雷霆，命令追查谁泄了密。这时雅各布在英国，德国情报部门把他骗到德国，抓起来审讯。但雅各布说，他的小册子中的每一条消息都是德国报纸上公开登过的，并指出哪一条在哪一家报纸哪年哪月哪日刊登的[4]。这又说明雅各布用的也是“框架法”，他知道德军的组织模型，然后把零碎分散的点滴资料、消息往框架中放，各就各位，最后全局就豁然呈现出来了。

以上这两个例子是发生在电子计算机出现之前的事。在电子计算机出现以后，大量计算工作非常容易，也不费时，“框架法”有了发展，这里举第三个例子来说明。江苏镇江科委彭昆仑同志，不久前解决了红学家们长期论而不决的一个问题：林黛玉是几岁到贾府的。这个问题之难不在于《红楼梦》一书中没有线索可寻，而在于线索太多，不能偏用哪一条，而是要把全书中所有可以推论出林黛玉人贾府年龄的文字全部理出来，然后看哪一个年龄占绝对优势。这里框架或模型并不很复杂，复杂就复杂在条理非常多，限于精力，哪一位红学家也无法一条不漏。

彭昆仑用了电子计算机，可以说是彻底地进行推算，结果表明林黛玉到贾府时的[303]年龄应是 9 岁[5]。

彭昆仑同志是把模型方法与电子计算机结合起来使用了，是现代化了，但他处理的问题，毕竟还是比较简单的。如果要找更接近历史科学研究的事例，我们认为应该看到，今天在我们国家对经济计划和社会发展所做的科学预测研究工作，如“2000 年的中国”以及国家宏观调节的其他各种分析计算工作，便是更切近的例子。“2000 年的中国”这项研究分析是国务院经济技术社会发展研究中心主持的，它动员了国务院各部门、中国科协和所属各学会、协会、研究会参加，涉及的方面不只是国民经济，还有科学技术、教育及智力开发、文化艺术、国防事业、国际交往、外贸旅游等等；所以是对 2000 年的我国社会的全面预测。从涉及的范围讲，它是把全社会作为一个十分复杂并充满矛盾的统一过程来分析、综合的。因此这类计划和预测研究与马克思主义历史科学研究的内涵已非常接近，要说区别，主要只有一个：计划和预测工作是针对未来的，而历史科学研究则是考察过去。但我们知道，在数学关系中过去与未来的区别只在于在时间参量上加个负号。既然我们能组织起力量搞宏观全国性的计划和预测，我们为什么不可以把这套现代化科学技术用来使历史科学定量化呢？是定量的，不只是定性的，因为这是有数学关系的，可以用计算机算出来。

模型、数据、计算机和判断

现在我们要说明，我国计划和预测工作者用的这套方法也不是一朝一夕形成的，它是有来源的，是经过 30 年发展起来的系统科学——一个与自然科学、社会科学并行的现代科学技术一大部门[6]的成果，是与系统科学的技术即系统工程[7]密切相关的。这套方法的优点在于它能把错综复杂的关系和成千上万个因素作综合定量的分析，这也就是系统观点的特长。

对历史科学定量化来说，研究工作可能要分以下几个步骤：

第一步是建立历史发展过程的社会模型。这里最重要的当然是我们对历史过程的理解。只有从马克思主义哲学的立场和观点出发，用历史唯物主义来指导，才能建立正确的模型。模型的结构又必须符合系统理论，即系统科学的基础理论——系统学。现在对系统学这门尚未牢固创立起来的学问免不了有各种各样的称呼：如“三论”（即“一般系统论”，“控制论”和“信息论”）；也有人把这“三论”称为“老三论”，还有“新三论”。这都是混乱！应该把系统科学的基础理论统一起来称为系统学。所以马克思主义哲学，特别是历史唯物主义可以和系统学一起作为建立历史模型的理论。

第二步是把经过考证的历史事实和数据引入模型，到电子计算机上去试算，[304]看看算出来的结果是否合理。合理或不合理的判断又必须以马克思主义哲学和历史唯物主义为根据，当然正确运用这些原理还得靠历史科学家的素养。不合理或不尽合理时，就要调整原来模型的结构。建立和调整模型的数学理论是一门专门学科，是系统科学的应用科学，叫“系统辨识”[8]，意思是对原来不那么了解的系统内部结构要辨认清楚。

经过若干次“辨识”之后，系统模型确立了，计算机的计算结果就是定量化的历史科学研究成果。

从以上的阐述，可以看到使马克思主义的历史科学定量化，第一要靠正确的哲学指导；第二要靠现代科学，特别是系统科学的理论和方法；第三要靠现代工具——电子计算机；第四要靠历史科学工作者的正确判断。千万注意第一条和第四条的重要性，这是决定研究工作成败的关键。所以，它们也就体现了我国历史科学的中国特色。

历史科学定量化的依据和意义

系统学和系统方法是马克思主义哲学普遍联系原理的具体化和深化。它的出现和建立，使我们多了一个新的工具，能从宏观的角度，透过极其复杂的历史现象，把握历史发展的总体运动，以及各个要素间内在有机联系；从而能够确定宏观的变量，以便描述历史体系运动的统计行为，这不但是建立历史模型的科学依据，也是定量地描述相互作用着的社会集团活动的理论基础。电子计算机则提供现代技术手段，使这种可能变成现实。

实践已经证明了运用系统科学使历史研究定量化的必要性和可能性。早在 50 年代末和 60 年代初，美国历史研究就利用电子计算机进行定量分析和统计分析。美国一些计量史学家，收集整理了美国南北战争前种植园奴隶制经济的大量数据，根据制定的历史模型，使用电子计算机处理这些数据，得出一致结论：南方奴隶主在奴隶劳动中一直攫取高额利润，因此不可能自行解放奴隶，南北战争爆发是势所必然的。这个结论一举推翻了美国史学家菲利普斯关于奴隶制可以自行消亡的权威观点[9]。如今计量方法在美国史学研究中得到广泛运用，涉及经济史、政治史、城市史、人口史乃至议会史、选举史、种族史等众多课题。

运用历史模型进行定量研究的方法，在一些国家日益受到重视。美国现有几十所大学设有专门机构研究计量史学方法。哈佛大学规定历史系专业学生必须选修电子计算机课程。法国、英国各设有若干这方面的研究中心。苏联也有两个以上的机构研究这些问题。北欧国家和东欧国家对此也相当重视。非洲和南美洲的

一些国家运用系统学建立历史模型，对国家政治变化及其相关因素进行定量[305]研究，并根据这些研究成果对国家政治结构及其变革进行比较研究，取得一定成绩。1986 年 2 月出版的《国际社会科学》杂志中文版第 3 卷第 1 期，对这方面的情况有所反映。

相对而言，我国史学界在这方面起步较晚。迄今为止，还在争论这种方法是否可行，未能进入实际运用的阶段。然而，开展历史科学的定量化研究只是一个时间早晚的问题’，因为运用系统科学建立历史模型进行定量研究，具有重大的理论和实践意义。这种研究方法，使人们有可能克服本文在前面提到的五个困难，找到一个科学的认识工具，从宏观上把握历史运动及其规律，充分展示历史的丰富内容和辩证性质。这种研究方法将变革历史科学的现有形态，并使历史科学成为名副其实的社会系统工程，成为与历史运动性质相一致的交叉学科和横断学科。运用这种研究方法，要求集中历史学家、哲学家、系统科学家和工程技术人员，以及相关课题的专家学者的共同智慧，使历史科学的研究方法和组织形式迅速实现现代化、社会化。这种方法为比较研究各种不同历史发展道路的模式提供了广阔的前景和余地，为历史科学同未来学、预测学的有机结合创造有利条件，这也无疑会空前提高史学研究的社会价值。

历史科学定量研究的设想与问题

运用系统方法对历史进行定量研究，还需要注意解决以下问题。

首先，找出描述社会行为的宏观变量，建立历史模型，其理论前提必须科学。否则，不论电子计算机所依据的数据及其运算过程多么准确，也不会得出科学的结论。这就要求历史模型的设计者必须有深湛的理论素养与广博的历史知识，有敏锐而深邃的社会洞察力。因此，进行这种研究，需要更加全面准确地学习、运用马克思主义理论，需要史学工作者进行更加深入、更加富于创造性的研究。

其次，运用这种研究方法时，还必须考虑到历史科学的特点和性质。同自然科学不同，历史学不可能在实验室里复制历史，也不可能使历史在完全相同的条件下以完全相同的形式重演，并得到完全相同的结果。同时，历史活动总是通过人的实践活动进行的，而人的主观性活动，如情感、心理、性格、价值观和社会习俗等，是无从准确定量的，但这些因素会在历史进程中发挥作用。因此，历史资料大量属于非数学性表征的一类。系统科学方法提供了从宏观上对社会行为作定量描述的可能，但鉴于历史科学的这种特殊性质，不能机械地把历史科学的定量研究理解成一个绝对的、凝固的数字或比值，这种理解不符合也不可能圆满地表述历史运动的辩证特点。历史科学中的量，绝不是普通数学中的数字概念，它

是一个带有运动方向性的变量，或者可以姑且借助物理学的一个概念即矢量来表征。[306]在历史研究中，量的范畴只具有相对意义，即使是一个确定的数据，也只在特定时期和特定范围内有效，研究的精确性往往通过模糊数学的不精确性来表现。

根据同样的理由，还可以说明没有任何一个历史模型，可以成为分析解剖历史运动的万应灵方，它总是适用于特定的历史时期、特定的历史条件，而历史却持续不断地向前运动，具有明显的延续性和过程性。研究南北战争的历史模型不适用于太平洋战争，研究中国封建社会结构的历史模型不能用于研究日本、印度的历史，也不能用来研究中国近代社会。历史运动的这种特点，要求必须把定量研究同定性研究有机结合起来。不然，这种数据和数据处理结果，就会失去其应有的价值和意义。

再次，需要强调指出，这种研究方法建立在丰富的历史资料和数据基础上，史学工作者对资料和数据的搜集考证工作，是进行这种研究的科学前提。一般地说，由于生产方式、生活方式以及人类活动范围、认识能力的种种局限，数据性资料在古代社会尤为少见，已有的也不那么准确可靠。这就使这种研究的范围和有效性受到限制，它们同历史消逝的时间成反比，同历史的进程成正比。它主要在近现代史研究中发挥作用，并且可望在今后发挥越来越大的作用。另一方面，我们还不能低估中国传统史学的特点给这种研究造成的特殊困难。中国的历史资料，大多属于政治制度和政治活动一类，带有明显的非数据性特点。而现存的数据性资料，则又往往？昆乱不堪，谬误百出，真实性与可靠系数较小。对前一类史料，如何设计出科学的历史坐标体系和宏观变量，对之进行数据转换处理，是十分复杂的过程。对后一类史料的引用，则需慎之又慎地反复进行辨伪勘误。这都是开展这种研究时需要探索和解决的实际问题。

最后，还要明确提出的是，这种研究方法虽然对历史科学定量化起着关键性作用，但它并不排斥其他的史学研究方法。相反，在确定历史模型时，需要综合运用现有的各种史学研究方法和手段。从某种意义上说，这种研究方法从提出到成熟，不仅是系统科学方法的成果，也是综合运用包括考据方法在内的各种史学研究方法的共同结果。

既然对历史科学进行定量研究的问题应该尽快提上议事日程，我们不妨就此提出一些建议和设想供史学界和有关部门参考：

（1）有计划地组织和开展本学科的专题讨论，对这项工作的依据和意义、可能遇到的困难和问题，直到各种具体运用的方案，进行深入的探讨与论证，作好必要的理论准备。

（2）应给历史研究机构配备电子计算机和一定的技术力量，着手建立大型历史资料数据库，利用现代技术手段改变资料和档案工作的手工操作状态。

（3）在教育委员会有关部门直接领导下，选择几所大学作试点，在历史系各专[307]业开设系统科学、电子计算机和高等数学等课程。培养进行定量研究所急需的专门人才。

（4）组织历史学家、系统科学和系统工程学家以及其他方面的专家、充分酝酿，确定选题，设计模型及其软件，开展试验工作。可供试验的选题很多，例如：中国古代社会的农业结构、商业结构以及二者的相互关系；科举制在中国封建官僚体制中的影响和作用；中国古代或近代的人口发展与地域分布；近代中国资本主义经济结构的形式与变动因素；洋务企业的管理机制与经济效益等等。

（5）有选择、有重点地翻译国外有关书籍报刊，及时介绍这方面的学术成果和动态，组织力量开展学术评论，汲取可供借鉴的经验和教训。

钱学森于 1985 年 12 月提出本文的基本思想，并写成部分文稿；沈大德、吴廷嘉参加讨论并续完；最后再由钱学森审定全稿。原载《历史研究》1986 年第 4 期。

参考文献

[1] 原译作“社会经济形态”，俄语是 общественно－экономическая формация，实系马克思用的德语 ökonomische gesellschaftsformation 之误译。这里改正为马克思本意的“经济的社会形态”。见钱学森：《新技术革命与系统工程》，《世界经济》1985 年第 4 期第 4 页。

[2] 《列宁选集》第 2 卷，人民出版社 1965 年版，第 546～547 页。

[3] 敬恩：《学习恩格斯分析战争现象的科学方法》，《哲学研究》1980 年第 12 期。

[4] 田新建：《希特勒追查泄密事件》，《国防科技情报工作》1982 年第 6 期。

[5] 彭昆仑：《关于<红楼梦>时间进程和人物年龄问题的探讨——兼论电子计算机在红学研究中的初步应用》，《纪念曹雪芹逝世二百二十周年学术讨论会论文》。

[6] 钱学森：《现代科学的结构——再谈科学技术体系学》，《哲学研究》1983 年第 3 期；《谈行为科学的体系》，《哲学研究}1985 年第 8 期。

[7] 钱学森等：《论系统工程》，湖南科学技术出版社 1982 年版。

[8] 这方面文献很多，读者可查阅英文书刊。“系统辨识”的英文是“Systems identification”。

[9] 朱永涛编译：《计量法在美国史学研究中的应用》，见《世界史研究动态》1984 年第 9 期。[308]

军队现代化与作战理论的发展

王寿云

80 年代是主要大国军队建设的活跃年代。

1982 年 8 月 10 日，美国陆军“空地一体作战”战役理论在堪萨斯州里温沃斯堡产生，即 1982 年版 FM100—5《作战教范》；美陆军新战术和新部队设计在华盛顿州刘易斯堡进行试验（如在第九步兵师进行的高技术摩托化师 HTMD 试验）；1985 年 4 月美陆军正式颁发 86 型重型师新编制，1986 年将完成第二次世界大战以来陆军部队结构的第三次大改组。1986 年还颁布了 1986 年版 FM100—5《作战教范》。美陆军处于二次世界大战以来最大规模装备现代化过程中，在 80 年代和 90 年代，陆军大部分主要装备系统，将被具有更大作战能力的系统所替代。

70 年代末、80 年代初期，苏军战役理论从“大纵深战役理论”发展成为“大纵深立体战役理论”，并且体现在 1982 年版《陆军战斗条令》和 1984 年版《战术》中。苏共二十七大提出了新的战略思想。苏联军队根据新战略思想正在修改战争理论，对部队结构、武器装备和部队训练进一步改革。

西欧国家处在军队现代化建设重要阶段，十分重视研究新技术的发展和应用对作战思想、武器装备、部队结构和军队训练的影响，作战条令、部队编制和军队训练都在发生有意义的演变。

1985 年中央军委扩大会议实现了我国军队建设战略思想的转变。在新的军队建设战略思想指导下，推动作战理论、武器装备、部队结构和军队训练的发展研究，是新时期国防现代化发展战略研究的重要任务。科学技术发展到今天，这样的任务是可以用科学方法来研究的。

武器装备、作战条令、部队结构和部队训练，是形成军事能力的四大要素，它们要在作战理论指导下实现协调统一发展。研究武器装备发展战略，需要首先研究这四大要素的辩证关系。在四大要素的相互关系中，作战条令处于支配位置。在推动作战条令不断演化的力量中，技术革新和敌国作战理论的发展又是最重要的因素。指导我国国防科技和武器装备长远发展的，是体现作战条令、武器装备、部队结构和部队训练统一发展的作战理论，而不是其他。

武器装备、作战条令、部队结构、部队训练四大要素之间的辩证关系，需要

从[309]现代军事历史特别加以说明。

法国陆军在第一次世界大战前夕对新炮兵技术的潜力认识错误，在新武器可供运用的时候，不是去诱导出新的作战条令，而是沿用老条令束缚新武器。第一次世界大战中，法军对如何运用新武器的这一认识失误，经历了最大的困难才予以克服，到 1918 年前，正确的程序和条令才诱导出来，使炮兵武器得到最大限度运用。

部队结构设计的焦点在于把部队编制和武器装备这两种能力结合起来去执行新的作战条令，而不是发展条令去适应旧的部队结构。历史的例证可以在第二次世界大战前法、德军队的对比中找到。这两个国家有同等水平的武器装备，甚至有的军事评论家认为法国军队还略占优势。然而，只有优势的作战条令才能把可用的力量合成为正确的力量结合，这一原理在德军打垮法军防御过程中发生了作用。在第一次世界大战经验和考察其他国家军队建设经验的基础上，德军在 20 年代后期和 30 年代早期运用模型进行野战试验，先于武器装备去发展作战条令。

当 1941 年德国法西斯把机械化战争强加于苏联时，苏军完全缺乏准备。苏联 20 年代和 30 年代中期的作战教范已认识到需要部队的机械化。但是在经历 30 年代的清洗之后，许多新条令的支持者被迫离开军队。其结果是在这次清洗之后机械化作战条令实质上被抛弃。苏联进攻波兰使用了两个机械化军团。但在进攻战役结束后就解散了机械化部队。仅仅是在德军显示了对苏机械化战争的潜力后，苏军才回头朝向机械化努力。后来的苏军大纵深战役理论实质上根植于 30 年代条令，大规模、机动和连续作战这些作战思想本来就是在那一时期提出的，如战役机动集群。只是工业化、意识形态、政治问题方面的考虑，使苏军一时放弃了有远见的思想。

在第二次世界大战开始时，美国陆军没有战术航空作战条令。一个原因是陆军航空兵偏爱战略轰炸，忽视战术航空。陆军航空兵为寻求独立，把战略轰炸作为一种独立使命，仅有战略轰炸条令，而这是一种走在运用条令的技术能力前面的命令。地面部队也没有意识到战术航空的潜力。当地面部队需要什么还不清楚的时候，他们必然不会成为攻击航空力量的建议者。美国进入第二次世界大战时没有可行的战术航空条令。

“空地一体作战理论”，已转化为美国陆军 1982 年 8 月颁发的作战条令，它支配了 80 年代初期美国陆军编制、装备和训练部队的方式。新的条令，要用发展新武器装备、改进部队结构和训练方法来支持。面向未来的军队建设，必须使条令、编制和装备的发展密切协调。1982 年开始的若干年内，美国陆军师是处在变革过程中的师。老的传统（如历史经验教训、战术基础、军队领导程序），结合新

的变化（如由演变的编制和武器装备形成的改进中的能力），提供了更适合新的作战条令[310]的部队结构。在军队现代化过程中，这种条令、编制和武器装备发展的协调关系，在历史上并不是独一无二的。50 年代的五群制师，就是二次世界大战后美军部队结构的第一次大改组。美陆军从 70 年代后期就开始根据 1976 年版 FM100—5《作战教范》设计 86 型师编制方案。在这期间，由于据以编写 1976 年版《作战教范》的作战理论发生了变化，发展了空地一体作战的战役理论。1982 年版 FM100—5《作战教范》体现了这一新的作战理论。86 型师的设计工作与新的作战理论结合起来。现在，新的 FM100—5 代表了美军条令现代化努力，它开始了美军用部队结构和武器装备这两种能力的结合来适应新条令的时代。在评价这种现代化努力对师的战术的影响时，必须同时认识新武器装备增强的能力和运用部队编制的能力。从 86 型师的骑兵中队和机动营，可以说明条令、编制、武器装备的关系。骑兵中队编制从原有的装甲骑兵结构，变成两个步骑兵队和两个空中骑兵队的对等结构。新的中队装备突出了中队的侦察、监视功能，不再编主战坦克。这种编制与装备结合的改变，减低其作战能力，但增加其侦察、监视能力。因为陆军整个作战思想和空地一体作战均依赖于关于敌人部队的准确及时的情报。

作战理论决定作战条令。作战条令支配了武器装备、部队结构和部队训练的演进。而技术是推动作战理论发展的最活跃因素。恩格斯说过：“一旦技术的进步可以用于军事目的并且已经用于军事目的，它们便立刻几乎强制地，而且往往是违反指挥官的意志而引起作战方式的改变甚至变革”。第二次世界大战以来，对军事战略理论产生过最重大影响的科学技术是核武器技术；将要产生最重大影响的科学技术是定向能武器技术。

罗伯特•容克在《比一千个太阳还亮》这本书中写过：“如果只是将军们自己，尽管他们拿出最大的能力也不可能跟得上军事技术发展上的这些‘量子跃迁’。现在他们需要科学家和他们并肩站在一起，科学家们会帮助他们制订计划，并且当技术上每迈进新的一步时帮助他们修改计划。”在本世纪中期以电子计算机、氢弹和导弹为标志的时代，冯•诺伊曼是由新武器发明人变成战略科学家的最明显实例。在 80 年代，推动定向能武器技术发展的战略科学家代表人物是：泰勒、弗莱彻、约纳斯。

新技术是促使空地一体作战理论产生的一个重要推动力。新技术增加机动性和火力，也加强了指挥、控制、监视和目标捕获能力，M1 坦克、M2、M3 战车，以及先进的攻击直升机，都是这一类武器。新的传感器和远程炮兵武器，也影响作战方式。空地一体作战理论把这些新系统的能力集成进入到新的作战思想之中。反之，新的作战思想又为合成军种面向未来的武器装备发展验明需求。随着“战

略防御创新”的新技术转移用于常规作战，定向能、动能和高能微波武器的出现，以及传感器能力的改进，新版的《作战教范》将使它们集成进入部队结构，并促进[311]向着编制2000年的《作战规范》演化。

武器装备、作战条令、部队结构、部队训练这四在力量要素的辩证关系，正是军事系统工程研究的对象。1979年7月14日钱学森同志在总部机关领导同志学习会上作的题为《军事系统工程》的讲演，对此有深刻的说明。

原载《瞭望》1986年第22期。

[312]

以理论为依据的需求体制

王寿云

建立以作战理论为依据的武器装备、作战条令、部队结构、部队训练的需求体制，是军队现代化建设的重要任务之一。

作战理论研究的一般过程是：从现实提取研究素材，如军事历史、战例经验、演习资料等；然后进行理论分析，研究、洞察影响作战的各种事物之间的联系；在理论分析基础上提出新的作战思想；根据作战思想制订战略、战役和战术条令；最后把条令运用于武器装备的发展、部队结构的设计，以及训练和作战。

在 80 年代世界各国军队现代化建设中，战役理论的发展起着十分重要的作用。美国陆军“空地一体作战”理论，苏联军队“大纵深立体战役”理论，以及北约西欧盟国于 1984 年正式决定采纳美国空地一体作战思想的打击纵深原则，这些战役理论都是各国军队现代化建设理论的突破。

历史上，拿破仑在耶纳会战、勒根斯堡会战、莱比锡会战中，把进军、机动、作战和追击融合为一个连续过程，实现战略向战术的过渡。拿破仑的伟大贡献在于战役艺术。克劳塞维茨按空间、数量和时间，实际上把战争分为战略、战役、战术三个层次，只不过对战争的“战役”层次，仍沿用“战略”这个术语表示罢了。这三个层次对应的时间、空间概念分别是：战略（战争、全国），战役（战局、战区），战术 （战斗、阵地）。克劳塞维茨所谓的“战 IX″实际上是指四面都有掩护，因而具有一定独立性的整个战争空间的部分。所谓“战局”，指一个战区内发生的军事活动。各国军队曾用不同术语表示战争的“战役”层次。法国陆军（19 世纪）用的术语是“大战术”，德国陆军用的术语是“战役”，苏联陆军用的术语是“战役法”，美国陆军以往用的术语是“战略”，1982 年开始用的术语是“战役”。按照苏联军事战略家的观点，战略、战役法、战术构成军事艺术。战役法是战略和战术之间联系的链环，是准备和指挥大部队作战的理论与实践。战役作战由大编队（如集团军、集团军群）进行。

美国陆军作战条令一直缺乏“战役”这个概念。1982 年版美国陆军《作战教范》，第一次把战役理论引入美国陆军，并把它定义为：大部队（集团军和集团军群）在战区范围内进行战役作战的理论和实践，利用战役和战役结果达到主要军[313]事目的。这一版《作战教范》是美陆军作战思想的现代化发展。它对作战条

令、武器装备、部队结构和部队训练的发展战略研究，提供了一种模式：建立以战役作战理论为依据的需求体制。

美国陆军以其作战使命、越南、中东战例经验教训、苏联 20 年威胁预测分析和对科学技术发展的预测这四方面的工作为基础，进行作战理论研究，提出了新的作战思想："一体化战场"、"扩大的战场"、"战场纵深遮断" 等，最后综合成战役理论，并最恰当地表达为"空地一体作战"。地面部队指挥官运用所有可以利用的手段，运用陆、空部队合成战役能力，观察与打击纵深、根据这一战役理论，对作战条令、武器装备、部队结构和部队训练提出更新的需求，为产生新的作战条令、武器装备、部队结构和训练计划提供理论依据，最后产生新水平的合成军。这就是以作战理论为依据的需求体制。

以理论为依据的需求体制，对我军建设来说并不全是新事情。早在解放战争时期，我军以毛泽东同志十大军事原则指导军事能力的建设，后来在 1956 至 1964 年间，毛泽东又提出了发展用于自卫的核武器以遏制超级大国对我核威慑的理论，就是在这一理论的指导下，我国发展了有限的自卫核力量，建立了战略火箭部队。

国防科技、武器装备的发展战略研究，和未来战争作战理论的研究，是相互促进，紧密关联的。作战理论的研究，指导着武器的发展方向；技术的发展，推动着作战理论的演变。我们现在面临的问题是，为了适应 1985 年中央军委扩大会议所实现的国防建设指导思想的战略转变，武器装备、作战条令、部队结构、部队训练，都要转为以面向下世纪的作战理论为依据的需求体制。而发展适应新战略思想的作战条令、武器装备、部队结构、部队训练、又需要相当长的时间。因此，我们的任务是要研究未来反侵略战争的作战理论，使国防科学技术研究和武器装备研制以未来反侵略作战理论作指导，真正做到按未来作战需要发展武器装备。同时还要加强国防科技和武器装备的发展对作战方式和军事理论影响的研究，促进作战理论的发展。作战理论研究的突破口是战役理论研究。要建立以战役理论为依据的需求体制，即通过战役理论的研究过程，对条令、装备、编制和训练提出新的发展要求，最终实现作战条令、部队结构、武器装备、部队训练的更新，提高部队作战能力的综合水平。

从军事历史上看，种种强调靠单一军种作战制胜的理论都相继过时了。这些理论中，有克劳塞维茨关于陆战的大陆理论（以决定性的陆战为学说基础）；有马汉的海洋理论（认为陆地区域可以从海洋来控制）；有杜墨的空中理论（轻视陆地和海洋，认为可以通过战略轰炸和占有制空权来控制敌国）。现代战争，不再是海军孤立、隔离敌人，空军夺取空中优势，以便让陆军挺进这样一种支离、脱节的事[314]情。现代条件下的作战，要求各军种高级指挥层经验的相互交流融合。现

代战争比过去任何时候都更加强调军种力量的合成，以求得力量的倍增。在这种情况下，就使两个因素变得十分重要：①新出现的军种作战条令，展望了所有军种在所有战区最大限度的战斗合成；②由于资源不足和采购、使用高技术武器不断增长的费用，支配着各军种必须实现更大范围的统一。陆、空力量一体化运用的思想萌芽起于第一次世界大战。美国空军战术空军司令部和陆军训练与条令司令部的合作和对话开始于 1973 年越南战争。为了促进形成联合作战概念、程序和条令，工作量是如此之多，以致两个司令部需要一个独立的机构来专门管理联合工作。1975 年，他们共同建立"空地力量应用局"，负责向两个司令部的联合行动委员会报告工作。该委员会由负责战术空军司令部计划的副参谋长和训练与条令司令部负责条令的副参谋长领导。训练与条令司令部从 1976 年开始，研究调整其作战思想。在 1982 年版《作战教范》中，将新的作战理论定名为"空地一体作战"。1984 年，美国陆军和空军达成协议，共同努力实现"空地一体作战"理论。

作战模拟是研究战术的传统方法。随着计算机时代的到来，计算机作战模拟处理复杂问题的能力将有很大的增长，转而被用于研究解决一大类更宏观的军事问题：①评价作战条令；②评价力量结构规划；③评价武器系统作战效能。在模拟的可控制条件下，按照设定的战略、战术进行计算机作战实验，能够对作战方式、兵力结构和武器装备之间的复杂关系获得定量了解，能比习惯用的推理方法获得更清晰的洞察力，并能用形象化的方式解释所获得的启发。美国是应用计算机作战模拟最先进的国家，据 1982 年统计，美国国防部通常用的作战模拟模型有 363 个。

直接参与修改 1976 年版《作战教范》的两位美国陆军中校，在美国《军事评论 M982 年 7 月号的文章中指出，1976 年版的《作战教范》改变成为 1982 年版的《作战教范》，美国陆军作战条令之所以会出现这一变化，回答是简明的："野战训练和作战模拟演习研究的结果使陆军司令官们深信，使用 1976 年的作战条令他们不能击败苏联人。"这是作战模拟用于研究作战条令的典型例子。

在堪萨斯州里温沃斯堡的美陆军合成集团军中心，用来设计 86 型师的"师作战模拟演习"，是师级、双边、确定型，有局中人辅助的计算机对抗模型，计算机模型执行火力、机动、目标捕获功能，模型考虑了后勤、战斗支援和战斗勤务支援，包括可以利用的陆军和空军空中支援。"师作战模拟"主要用于模拟一个师的部队和最多由四个师组成的敌方部队之间的战斗，研究部队编制和使用原则，确定部队战斗效能如何随它的武器和武器系统的变化而变化。这是作战模拟用于评价部队结构的典型例子。

计算机作战模拟的应用在我国已开始起步。1983 年开始应用。引入计算机[315]

作战模拟技术，是发展战略研究方法现代化的需要，我们要认真研究美国发展作战模拟技术的经验教训，以促进我国军事现代化的发展。

1978 年，美国以部门分割为基础的模型管理，导致相互不兼容的模型激增，大量模型重复，多余工作过多。在这种情况下，美国陆军训练与条令司令部开始进行模型改进计划，试验开发一种战斗模拟建模能力，以体现几种特点的结合：等级体系结构、模块结构、数据库通用性、多模式工作、软件和程序逻辑兼容性，以便为新的“如何打仗”的研究更快提供具有高精度和高可信度的分析支持。

1980 年 4 月，美国陆军颁发陆军法规 5—11 号，正式推进模型改进计划，集中发展和管理一个等级体系结构的模型集，同时发展集中控制的数据管理系统，以支持这个等级体系结构。陆军训练与条令司令部被指定负责监督实施模型改进计划，并在里温沃斯堡建立“模型改进计划管理办公室”，负责完成计划目标，对工作进行全面领导和协调。陆军成立“陆军模型委员会”对整个计划进行指导。等级体系结构包括：战区作战评价模型，军、师作战评价模型，营级特种部队作战评价模型。

从美国“陆军模型改进计划”吸取的教训是：从条令研究与训练研究相统一的角度，我军应当有相当于美陆军训练与条令司令部职能的机构，统一规划管理条令与训练研究中的作战模拟，避免走美国发展作战模拟技术的弯路。

关于发展等级体系结构建模技术的必要性，我曾在《现代作战模拟》这本书中作过这样的说明。

对作战运用最有用的模型，看起来是军团、师级作战模型。由于计算机能力的限制，这类模型是高度并合的，因而很少可能严格近似实战情况。

解决这个问题的途径，在于新的计算机技术和廉价的微计算机的运用。分别在一个一个微计算机上建立每个军事单位的模型，将很快成为经济可行的。

按照这种方式建立起计算机的一个体系结构，与军事建制结构一一对应。这样一种系统能在许多不同层次提供战术作战的状态信息，从排的详细状态到更高指挥层模型中处理目前尚不能处理的细节，因而改进它们的可信度和用途。而且，一个统一的、经过证实和同意的模型将用在微计算机网络中，发展工作将着重在一个单一体系结构模型，科学研究人员将以它作为试验和改进工作的目标。

这一途径将解决这样一个问题：哪一个模型最好？避免工作的重复，使战术建模工作者在一个单一全国模型上合作。为达到此目的，将需要一个由计算机科学家、模型工作者和军事战术家组成的多学科小组。这不是一件容易的工作，但却是朝向使高层战术建模工作成熟发展的主要步骤。[316]

原载《瞭望》1986 年第 23 期。

作战模拟方法学在中国

王寿云

孙武是我国古代一位伟大的军事哲学家。他从战术、战略、武器、供给和哲学的角度，对春秋前战争史进行了周密考查，从中引出了深刻的哲学教训。他在写作不朽的军事哲学著作《孙子兵法》过程中，事实上是在自己的脑子里按不同的战斗条件推演了矛盾斗争的整个过程。他是军事史上第一个运用模拟作战的思想方法研究战争的伟大人物。

莱斯维茨（von Reisswitz）、兰彻斯特（F. W. Lancheser）、冯•诺伊曼（von Neumann）、约翰生（Ellis A. Johnson）、杜派（T. N. Dupuy）对发展作战模拟方法学都有杰出贡献。作战模拟的最新应用是：美国陆军用“师作战模拟”（Division War Game）研究设计 1982 年版和 1986 年版《作战纲要》，美国 SDIO 用对抗模拟方法学研究 SDI 如何对付苏联的反措施。最近几年，高层次对抗模拟在美国有领先的发展。

1979 年？月 24 日，钱学森在一次有本文作者及柴本良参与准备的给中国人民解放军总部机关的讲演《军事系统工程》[1]中把作战模拟推荐给中国人民解放军。他说：“战术模拟技术，实质上提供了一个“作战实验室”，在这个实验室里，利用模拟的作战环境，可以进行策略和计划的实验，可以检验策略和计划的缺陷，可以预测策略和计划的效果，可以评估武器系统的效能，可以启发新的作战思想。战术模拟技术，把系统工程的模型、模拟和最优决策方法引入到军事领域”，“是军事科学研究方法学划时代的革新。”

一、经验性假设与作战模拟方法学

为了系统地给中国读者介绍作战模拟知识，本文作者在 1982 年写作了《现代作战模拟》[2]一书。在写作过程中作者与钱学森讨论认为：作战模拟方法学有半经验或经验的实质，而作战模拟方法学又与军事艺术结合；作战过程有四种定量描述途径，即：

（1）半经验的定量途径。这是最先由兰彻斯特从飞行理论引用过来的；[317]

（2）经验的定量途径。这是由美国退休陆军上校杜派及其军事历史协会的同事在 20 世纪 70 年代发展的；

（3）统计实验的定量途径。这就是美国运筹学家约翰生 1950 年初从核武器

设计引用过来的 Monte Carlo 方法；

（4）严格理论的定量途径。这可以用数学家冯•诺伊曼建立的博弈论为代表。

把今天的作战模拟方法学同整个 19 世纪和 20 世纪初的飞行研究方法学进行比较，是很有启发的。

在整个 19 世纪，实际上有两种很少联系的飞行理论。一种是力学和数学家们如牛顿（Newton）、达朗伯（D’Alembert）等发展的流体力学数学理论。这种理论同飞行的实际问题脱节，对渴望飞行的人们不能提出有益的建议。另一种飞行理论，是热心飞行的实际工作者为着应用于早期飞行实践而发展的半经验理论。所谓半经验理论，是在难以用严格数学方法处理的实际问题上，根据深入实际的经验性观察提出一种猜想或假设，用以说明影响物理过程的主要变量是如何结合起来对过程产生影。向的。如果从这种猜想或假设获得的结论与实验结果相符，就可以用于解决实际问题。半经验飞行理论的早期代表人物是英国爵士乔治•凯莱（George Cayley，1773～1857）。在 19 世纪的头一个 10 年，他提出过当时对设计飞行体的任何企图都有重要性的两个正确猜想。

19 世纪末和 20 世纪初，在数学家、物理学家和设计师的合作下，这两种互不联系的飞行理论开始汇合，从而开始了现代飞行的发展。兰彻斯特是为这一转变作出重要贡献的人之一。他在 1895 年证实了凯莱的两个猜想。他关于飞行理论的两卷著作“Aerial Flight”先后出版于 1907 年和 1908 年。他为无限翼展和有限翼展机翼理论奠定了严格的科学基础，促进飞行理论从半经验理论向严谨理论发展。接着，他把兴趣转向作战研究，把半经验理论方法引入到当时尚无理论可循的作战研究领域。

从 1914 年以来，在描述作战过程的数学理论上同样有两条发展途径。一条是兰彻斯特 1914 年开始的半经验途径；一条是冯•诺伊曼（vonNeumann）1928 年开始的严格理论途径。由于作战问题的复杂性，今天能够实际应用的仍然是半经验理论。回顾描述作战过程的建模理论的发展，并把它同飞行理论的早期发展相比较，至少可以得到重要的启发：提出经验的假设或猜想，是建立战斗过程数学模型的重要方法。这是建立作战模拟数学模型与建立物理科学和工程科学数学模型的区别。在半经验的作战描述理论中，经验性假设或猜想是建立战斗过程数学模型的出发点。

兰彻斯特对近代战争的两种战术情况进行了研究。他研究的第一种情况以[318]这样一个假设（或猜想）为研究的出发点：双方战斗单位数量损失的速率，正比于双方战斗单位数量的乘积。他研究的第二种情况以这样一个假设（或猜想）为研究的出发点：每一方战斗单位的损失速率与对方战斗单位的数量成正比。当

他用微分方程把这两个假设表达出来之后，简明而优美的微分方程往往把这两个假设的性质掩盖了。

包括后来投身作战模拟的科学家在内，微分方程的“假设”常常是原来未经严格证明的。数学家一般说来兴趣在于解微分方程，而不在于说明他的数学模型微妙的军事经验含义或解释[3]。

本文作者发现，兰彻斯特的两个猜想，原来是符合在他以前的军事经验的。在他以前的克劳塞维茨在《战争论》中写过：“如果两支数量不等的步兵和炮兵编成的部队在同样大的地区内平行配置，那么，在所有的射击都是以单个人为射击目标的情况下，命中的弹数同射击的人数成正比。如果射击的目标不是单个人。而是一个整体，如一个步兵营，一个横队等，那么命中的弹数同射击的人数也成正比。因此，对战争中的、甚至散兵战斗中的射击，大多数确实是可以作这样估计的。然而这个靶并不是一个完全的实体靶，而是由人和空隙组成的。空隙是随着同一空间内的战斗者的增加而缩小的。因此，两支兵力不等的部队之间的火力战的效力，取决于射击者的人数和被射击的敌军人数，换句话说，数量优势在火力战中不起决定性作用，因为一方利用大量的射击所获得的利益，会由于对方的射击更容易命中而被抵销。假定有五十个人同一个 500 人的步兵营在同样大的地区内对峙，如果 50 发子弹中有 30 发中靶，即打中对方步兵营所占的正方形地区，那么对方的 500 发子弹中就有 300 发打中 50 个人所占的地区。但是，500 人的密度是 50 人的密度的 10 倍。因此 50 人一方的子弹的命中率也是对方的 10 倍，从而 50 发子弹打中的人数恰恰同这一方被对方 500 发子弹打中的人数一样多，”[4]这一条军事经验，前后两段话分别与兰彻斯特对两种情况的假设是对应的。原来，兰彻斯特关于两种战术情况的研究。其出发点完全与克劳塞维茨关于战争经验的这两段描述相一致。兰彻斯特从经验假设演绎出完美的线性律和平方律。这种杰出运用，深刻说明经验性假设与作战模拟方法学的关系。

作为一种定量途径的杰出代表，杜派运用“定量判定模型”(QuantifiedJudge— mentModel)，表明了如何通过经验把影响战斗结果的各种因素定量化，从而从另一个侧面发展了作战模拟方法学。杜派的分析工作使用了经过编辑的 1943 年 9 月至 1944 年 6 月间在意大利 60 次师水平的战斗数据。

在解析背景中计算可定量的战斗变量，或在历史信息基础上定义这些战斗变量，都要用到种种假设。不同于物理科学，这类假设不能用严谨的方法加以证明，但必须符合军事经验。战斗建模的关键性基础工作，是学会运用历史的和演习的[319]各种战斗的经验数据。只有在此基础上才能演绎和外推关于现代和未来战斗的结果。为此，对历史数据、演习数据和靶场试验数据进行系统研究，是不可缺

少的。

以经验性假设为背景的作战模拟方法学，其基本思想是：

（1）从历史数据、演习数据和靶场实验数据的研究，提炼出经验性假设；如兰彻斯特对两种战术情况的假设。

（2）以经验性假设为出发点，建立战斗过程模型的表达式；如兰彻斯特关于两种战术情况的微分方程。

（3）从战斗过程模型演绎出结论；如兰彻斯特的线性律和平方律。

（4）用战例和演习数据校验所得出的结论；模型核实，就是用实验性的或经验性的证据对所要求的假设进行检验的过程。如兰彻斯特用平方律解释了车法加尔（Trafalgar）海战的结果，恩格尔（J. H. Engel）应用修正的兰彻斯特方程说明了第二次世界大战美、日硫磺岛战役结果，伊文•德里格斯（Ivan Driggs）用 Monte Carlo 方法相当符合地校验了兰彻斯特平方律。简尼斯•法恩（Janice Fain）用杜派使用过的二次世界大战 60 次陆战数据，说明了兰彻斯特半经验途径（semi empirical approach）和杜派经验途径（empirical approaches）之间呈现有趣的收敛性。

（5）经过初步检验的战斗过程模型，可以应用于预测现在和未来类似战术情况的结局。

二、作战模拟方法学在中国的应用

和平时期中国人民解放军作战潜力的发展，包括四大方面：

（1）作战条令；

（2）武器装备；

（3）部队结构；

（4）部队训练。

作战条令、武器装备、部队结构和部队训练，是形成军事潜力的四大要素，它们要在作战理论指导下实现协调统一发展。中国人民解放军要建立以作战理论为依据的武器装备、作战条令、部队结构、部队训练的发展、完善体制。现代作战模拟，是研究作战条令、武器装备、部队结构、部队训练四要素协调统一发展的科学方法学。在模拟的可控制条件下，按照设想的战略、战役、战术规定，进行作战实验，能够对作战方法、兵力结构和武器装备之间的复杂关系获得定量了解，能较习惯用推理方法获得更清晰的洞察力。并能用形象化的方式解释所获得的启发。

计算机作战模拟的应用在我国已开始起步。1979～1982 年是提倡和引进知

[320]识的时期，1983 年开始了应用研究时期。为了推动作战模拟的研究，中国系统工程学会在 1980 年 11 月成立时，就组织了军事系统工程专业委员会。1981 年 5 月，该委员会在北京召开了全国首届计算机作战模拟学术会议。近年来中国计算机作战模拟研究成果主要有：海军航空兵和导弹艇攻击巡洋舰编队作战数学模型(1983 年 1 月)，陆军师坚固阵地防御地面炮兵作战模拟模型(1985 年 2 月)，陆军师野战高炮群战斗模拟模型(1985 年 2 月)，“长城一号”分队战术模型(1985 年 3 月)，“长江二号”合成军师团作战模型(1986 年 12 月)；《地面防空火力群反空袭战斗模拟系统》(1987 年 4 月)，中国人民解放军第一届作战模拟经验交流会 1985 年 3 月在北京召开。

三、作战模拟方法学发展趋势

现代作战模拟方法学发展中面临的问题是：由于影响战斗过程的一些因素不易捉摸，建立战斗过程的数学模型不能指望严密的实验观察，只能依靠在军事经验基础上提出种种假设。提出经验的假设或猜想，是建立战斗过程数量模型的重要方法。严格核实这些假设是困难的。从半经验理论过渡到严格理论，还有相当长的道路要走。经验的假设包含了猜想的因素和简化的因素。用半经验或经验的定量方法处理同一或相似的战斗过程，不同的假设会产生不同的数学模型。迄今还没有方法能严格验明哪一类模型是最有效的。只能认为，能够与更多战例、野战演习数据相关联协调而又是有较少矛盾的模型，是比较接近于反映战斗现实的模型。

我们注意研究美国发展作战模拟技术的经验。70 年代，美国军队以部门分割为基础的作战模型管理，导致相互不兼容的模型激增，大量模型重复。在这种情况下，美国作战模拟科学工作者以“模型改进计划”(Army Model lmprovement Program)为代表，提出一种新的方法学思想 L5,：试验开发一种战斗模拟建模能力，以体现下列特点的结合：等级结构(hierarchical structure)、模块结构、数据库通用性、多模式工作、软件和程序逻辑兼容性，以便为新的“如何打仗”的研究更快提供具有高精度和高可信度的分析支持。“模型改进计划”与其说是一个作战模型族，不如说是代表了一种新的建模基本原理。我们中国作战模拟科学工作者，正在研究结合中国实际，丰富这一方法学的内容。

对作战运用最有兴趣的模型，看起来是合成军和师级作战模型，由于计算机能力的限制，这类模型是高度聚集的，因而很少可能严格近似实战情况。

对这个问题的解决途径，在于新的计算机技术的运用，分别在一个一个计算机上建立每个军事单位的模型，将很快成为经济可行的。按照这种方式建立起计

[321]算机的一个等级结构，与军事建制的等级结构一一对应。这样一种系统能在许多不同层次提供战术作战的状态信息，从排的详细状态到更高指挥层所感受的总战斗局势。这一途径允许在更高层模型中处理目前尚不能处理的细节，因而改进它们的可信度和用途。一个统一的、经过校验和取得一致意见的等级模型，连同计算机等级结构网络，这一途径将解决这样一个问题："哪一个模型最好？"避免工作的重复，使战术建模工作者在一个统一规格的全国等级结构模型上合作。这是朝向战术建模工作成熟发展的主要步骤。

本文是 1987 年在"中美国防系统分析讨论会"上发言。

参考文献

[1] 钱学森等著：《论系统工程》，湖南科学技术出版社，长沙，1982，第 49～50 页。
[2] 王寿云编著：《现代作战模拟》，知识出版社，上海，1984。
[3] GarrynBrewer，Martin Shubik，*The War Game*，Harvard University Press，1979，80。
[4] 克劳塞维茨，《战争论》，中文版，中国人民解放军军事科学院，1965 年版，第 1391～1392 页。
[5] *Systems Analysisand Modeling in Defense*（Development，Trends，andlssues），Edited D by Reiner K. Huber，1984 Plenum Press. New York，517. [322]

控制论和系统学

于景元

控制论是20世纪40年代由美国科学家维纳创建的一门科学。将近半个世纪，控制论已得到了很大的发展和广泛的应用。

钱学森先生曾高度评价过控制论的产生，他说，20世纪上半叶的三大伟绩是相对论、量子论和控制论，也许可以称它们为三项科学革命，是人类认识客观世界的三大飞跃。

控制论的研究对象是系统。所谓系统，是指由互相关联互相制约的各个部分组成的具有一定功能的总体。

这样定义的系统，在自然界、人类社会（包括人类自身）是广泛存在的。小到微观的基本粒子系统；大到宏观的宇宙系统；有先于人类早已存在的自然系统，如太阳系，生态系统；也有人类自己制造的所谓人造系统，如收音机，宇宙飞船等。有简单的系统，也有像人类社会这样的复杂系统等等。

控制论是研究系统控制及其应用的科学。也就是研究如何分析、综合和组成系统，研究系统各个组成部分之间的关联和制约关系。以及这种关系如何影响和决定系统总体功能。特别要研究如何影响、调节、改变和控制这种关联和制约关系，以使系统具有人们所希望的性能和行为。这样一些系统分析、综合的理论、方法就构成了控制论的基本内容。

控制论按其所研究系统属性不同，目前阶段有以下四个主要分支：以工程系统为研究对象的工程控制论；以生物系统为研究对象的生物控制论；以经济系统为研究对象的经济控制论和以社会系统为研究对象的社会控制论。

工程控制论是这四门控制论中发展得最为成熟和完整的分支。它是由我国著名科学家钱学森先生创建的。1954年美国出版了《工程控制论》一书。美国人称其为天书。这本书所阐明的科学思想、理论和方法对控制论的发展产生了重大影响。它的主要贡献是：

（1）综合和总结了工程系统中控制技术成果，概括和提炼成一般理论，使其成为一门科学。

（2）这一理论还被证明同样能应用到生物系统，经济系统以及社会系统等系

[323]统中。

（3）工程控制论奠定了现代控制理论基础。原书所建立的控制理论方向仍然是现代控制理论的主要方向。由钱学森、宋健合著的《工程控制论》（钱学森原著《工程控制论》的修订版）已充分说明了这一点。

（4）在原书中，已提出了系统学的基本思想。例如，用不太可靠的元器件可以组成可靠系统的理论（见原书第十八章），这恰是当代协同学的主要思想之一。

由于该书的广泛影响，至今仍为各国学者广泛引用。

或者由于生物系统、经济系统、社会系统等复杂的机制，使得这些系统的建模遇到一些困难。因此，生物控制论、经济控制论、社会控制论在理论上的进展不如工程控制论大。即使如此，这些控制论分支仍然取得了令人瞩目的成就，并越来越引起人们的广泛重视。相应的著作和文章大量地发表，国际性学术会议不断召开。例如，“控制论和系统研究世界大会″1975 年在布加勒斯特召开，大会的主题是经济控制论。1978 年在阿姆斯特丹召开，主题是社会控制论。

维纳本人非常重视生物控制论。在《生物控制论进展》丛书中，它给生物控制论下的定义是：“生物控制论的目的，主要在于建立能反映人体和动物功能的模型与理论，而且这种模型和理论中的逻辑原理是相同的。它也试图建立和生物系统有同样的物理与生物化学成分的模型。它是少数真正称得上边缘科学的学科之一。无论对生物学还是医学来说，生物控制论都给了它们以一种新的、普遍适用的、能充分发挥数学威力的语言。”近 20 年来，生物控制论在系统建模、反馈控制、稳定性和动态分析、自组织、自适应、自学习、可靠性和抗干扰性（免疫系统）等方面，都取得了很大进展。有的学者还证明了呼吸系统是在保证通气量下耗能最小的最优系统；而眼球跟踪目标系统则是三阶最速系统。生物系统是多级、多层次的复杂系统，尤其是人体系统更为复杂。例如，有的研究指出，人脑对人体的控制，不仅体现了集中与分散相结合的控制原理，而且有专门协调控制器——脑干，这在其他系统中还从未见到过。宏观上，整个生物系统的演化更是引人注目的研究课题。近十多年来，从物理化学发展起来的协同学，远离平衡态的耗散结构理论以及超循环理论，都为研究这个问题提供了新的思想、理论和方法。

经济控制论一词是 1952 年在巴黎召开的世界控制论大会上首次提出的。至今还没有一个统一的公认的定义。波兰的经济学家兰格认为，经济控制论是“用当代控制理论的科学方法分析经济过程的科学”，是“综合控制论和经济学的独立的边缘科学”。苏联的涅姆欣诺夫院士则认为“经济控制论是研究国民经济最优管理的科学”。罗马尼亚的曼内斯库在他的著作中指出“经济控制论的系统方法对国民经济内部发生的过程和现象进行分析，辨识系统和子系统的结构，它们之间的直

接连接、反馈连接，它们的动态特性所决定的结构和规律，以及经济机体中[324]每个组成部分的作用”。

在美国，何毓琦教授、R. Dobell 教授、邹至庄教授、D. Kentrick 教授，虽然没有给经济控制论下过定义，但都作了这方面的有意义的研究工作。

至于社会控制论更是众说纷纭，有的认为社会控制论主要是研究社会系统的管理、语言交往、信息管理等，并提出模糊集合论是研究社会系统的有力工具。

控制论还在发展，它不是单一学科，而是跨学科研究，它正吸引着自然科学家、社会学家、经济学家、哲学家在这个领域内进行广泛合作，它的研究成果已广泛地应用到人类社会各个方面。

从学科角度看，控制论属于技术科学范畴。钱学森先生曾写道，“现在我们如果把这四门技术科学加在一起称为控制论，这样形成的所谓控制论还是——门混合物。没有脱离其本来的技术科学面目。特性的内容多些，普遍存在的共性内容不够突出。能不能更集中研究“控制”的共性问题，从而把控制论提高到真正的一门基础科学呢？能不能把工程控制论、生物控制论、经济控制沦、社会控制论等作为是由这门基础科学理论控制论派生出来的技术科学呢？”。后来在另外一篇文章中，钱先生提出，“这里讲到的基础科学就是系统学”。

50 年代末 60 年代初迅速发展起来的现代控制理论，已经取得了重大发展。这个理论的特点是，它已在很大程度上撇开了系统的具体物理属性，而以系统的抽象模型为基础研究系统结构、参数、行为和控制性能之间的定量关系。正是由于这种抽象性、概括性的特点，使这一理论适用于更广泛的系统分析与控制。这些理论包括：①反馈控制理论；②能控、能观性理论；③系统可靠性理论；④大系统理论；⑤稳定性理论；⑥最优控制理论；⑦最优滤波和随机控制理论；⑧多变量系统理论；⑨鲁棒性理论；⑩人工智能和模式识别理论；⑩自适应、自组织、自学习理论。

系统学首先是钱学森先生提出来的。按照钱先生的系统科学体系，系统学是一门研究系统的基础科学，连接马克思主义哲学和系统学的桥梁是系统论。既然系统学是基础科学，它有关系统的概念，揭示的规律应该具有高度概括性、科学的抽象性和应用的广泛性。系统学是研究系统演化、协同、运转、调节和控制规律的科学。

科学发展到今天，能为建立系统学提供材料的学科还是不少的。例如，从物理、化学发展起来的协同学，耗散结构理论，从数学发展起来的突变论，微分动力体系，非线性理论和鞅论，以及处在系统科学体系中技术科学层次上的控制论、信息论、运筹学等。

现代控制理论各个分支所揭示的系统规律，起码在以下几个方面可以为建立系统学作出贡献：[325]

（一）在系统思想上

控制理论中控制的概念和思想是十分可取的。正如我们通常所说，认识世界的目的是为了更好地改造世界，那么我们认识系统则是为了更好地控制系统。

（二）在系统描述上

控制理论中，使用输入、状态、输出这些概念来描述系统结构、行为和功能的。这种方法已被证明不仅可以用来描述工程系统，同样可以用来描述生物系统、经济系统、社会系统等。因而，这种方法也可以贡献给系统学。

（三）在系统研究方法上

控制理论中广泛使用模型法，以及基于模型的时域法和频域法，是一种研究系统的有效方法。建模已不单纯是一个技术性问题，而是一种科学方法论。特别是计算机技术的飞速发展，更显示出这种方法的优越性。可以肯定，这种方法必将成为系统学的一种研究方法，否则，系统学的研究就不可能是定量的。

（四）在系统结构上

控制理论中以下几个分支，基本上是揭示系统结构方面的性质，这就是：

（1）反馈控制理论；

（2）能控性、能观性理论；

（3）可靠性理论；

（4）大系统、巨系统理论。

（五）在系统行为和功能上

控制理论中以下几个分支，主要是揭示系统行为和功能方面性质的：

（1）稳定性理论；

（2）最优控制理论、对策论；

（3）滤波和随机控制理论；

（4）鲁棒性理论；

（5）自适应、自组织、自学习理论；

（6）人工智能和模式识别理论。

这样的划分也不是绝对的，事实上有关方面。每一个理论分支，都要涉及到系统的各个

现代控制理论能为系统学的建立提供丰富的材料，但它也有局限性。这首先是建模方面的困难。一方面，有些系统在结构、行为和功能上很复杂，它的机制还不清楚（这依赖于其他有关学科的研究），另一方面，有些系统即使都清楚了，

但目前人们还不会用模型描述它，这需要发展相应的数学工具。今后，随着这两个方面学科的发展，控制理论所揭示的系统规律和应用范围也将越来越广泛和深刻。

当然，能为系统学提供材料的，正如前面所说，还有别的学科。例如，复杂系[326]统中一个很重要的现象——混沌的发现，是在物理系统中揭示出来的。

钱学森先生提出，“系统学的建立实际上是一次科学革命，它的重要性绝不亚于相对论或者量子力学”。现代科学技术的发展，为系统学的建立提供了丰富材料。但把系统学建立起来也不是一件容易的事情，需要我们作出艰苦的努力和创造性劳动。

原载《系统工程理论与实践》1987 年第 3 期。

从系统工程到系统学

———一门新兴的科学技术部门

于景元

现代科学技术发展突飞猛进。从学科角度看，有两种趋势是很明显的，一种是学科越分越细，新的学科分支越来越多；另一个是综合趋势，交叉学科不断产生。过去看来不太相关的学科，今天却相互交叉走向一体化的方向。这后一趋势更引人注目，其中尤以自然科学与社会科学的交叉正吸引着广大科学技术工作者。所有这些发展都标志着人类对自然界、社会和人类自身的认识愈来愈深化、愈来愈自觉，这是人类不断进步和走向文明的标志。

科学技术是生产力，科学技术进步必将对社会、经济、生态环境产生重大影响。在这个过程中，我们应该不失时机的把握住那些对我国现代化具有重要意义的新学科、新技术。大力促进迅速发展它们，以加强我国四个现代化的进程。

本文论及的就是正在形成和发展的一门新兴科学技术——系统科学。

目前，国内外关于系统科学的概念、理论和方法等的认识还很不一致，尤其国外更为混乱。这也从一个侧面反映了这门学科是新的一个特点，因而这种现象是自然的。

在众说纷纭情况下，我国著名科学家钱学森，在总结概括已有科学技术分支并根据现代科学技术发展的特点，首先提出了一个符合科学技术发展规律的清晰的现代科学技术体系结构，并在此基础上又提出了系统科学体系结构。

一、现代科学技术结构

钱学森提出的现代科学技术结构是一个纵横交错的矩阵式结构，纵的方向有三个层次：①直接改造客观世界的是工程技术；②为工程技术直接提供理论基础的是技术科学；③在技术科学的基础上进一步抽象概括成为认识、揭示客观事物规律的基本理论，这就是基础科学。如再进一步概括，就是马克思主义哲学内容了。

从横向划分到目前为止有九大部门：①自然科学；②社会科学；③数学科学；④系统科学；⑤思维科学；⑥人体科学；⑦行为科学；⑧军事科学；⑨文艺理论。

[328]今后随着科学技术的发展，还会增加新的学科部门。上述可表示如图 1 那样的形式（详见钱学森等著《论系统工程》，湖南科学技术出版社，1983）。

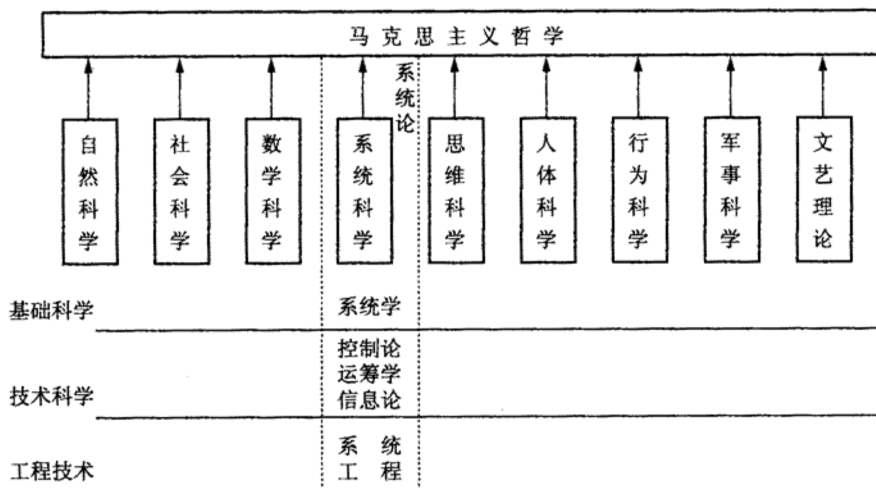


图 1　现代科学技术体系结构

二、系统科学体系结构

系统学科是现代科学技术体系中一个科学技术部门。它自然也由三个层次构成（见图 1），虽然其中有的学科如运筹学、控制论、信息论等有较长的历史，但就整个体系而言是新的，是近些年的事。其中处在基础科学层次上的系统学是正在建立的一门科学。

任何一门学科都有其研究对象。自然科学是研究物质运动规律的；社会科学是研究人类社会活动规律的，等等。那么系统科学的研究对象是什么呢？回答是明确的。系统科学作为一门科学技术体系，不管在那个层次上，那一门学科，都是以系统为研究和应用对象。那么系统又是什么呢？系统科学体系不同层次上的学科研究系统的内容又是什么呢？

三、系统及其有关概念

国内外关于系统有几十种定义，各有各的说法，不很一致。大体上有两种情况，一种是描述性的，另一种是数学公理化叙述方法（主要以卡尔曼、米沙洛维奇为代表）。下边采用描述性方法。

所谓系统是指由互相关联、互相制约、互相作用的一些部分组成的具有某种[329]功能的总体。这样定义的系统具有概括性和抽象性。一个系统具有什么组成

部分？它们是如何关联、制约、作用的？具有什么功能？只有对具体实际系统才能具体化，如太阳系是一个系统，人体是一个系统，一个工厂企业是一个系统，一个国家也是一个系统。

互相关联、互相制约、互相作用的组成部分叫作系统结构。组成部分本身也可能是一个系统，叫作原系统的子系统。而原系统对可能是更大系统的组成部分，这就是系统概念的相对性。

一个系统的以外部分叫作系统环境，系统和系统环境的分界叫作系统边界。我们研究具体系统时，必须明确系统边界。

系统对其环境的作用叫作系统输出，环境对系统的作用叫作系统输入。

系统结构和环境决定了系统功能。系统功能是通过系统输入—输出关系表现出来的。系统每个时刻所处的情况叫作系统状态，系统状态随时间的变化叫作系统行为。

具有相同组成部分的系统可具有不同的系统功能，因为它们的关联、制约、作用关系不同。例如固态的冰、液态的水、气态的水蒸气，虽然都是氢二氧一所组成，但它们的宏观性质却大不相同。尤其值得指出的是，它们都具有其组成部分氢和氧所没有的性质。

改变系统组成部分或者改变相互关联、制约、作用关系可以改变系统功能，特别是使系统具有我们所希望的功能。这就是控制论、运筹学、系统学的基本思想，也是系统工程应用的基本目的。

系统组成部分相互关联、制约和作用，是通过物质、能量和信息形式实现的，任何一个具体系统都是物质的，占有一定空间并随时间发展而变化。

系统在自然界、人类社会包括人类自身在内是普遍存在的。从微观的基本粒子系统到宏观宇宙系统；有先于人类早已存在的自然系统，如太阳系、生态系统；也有人们制造的所谓人造系统；有简单系统，也有像人类社会这样复杂的大系统。

系统存在的普遍性是有其马克思主义哲学基础的。辩证唯物主义认为，物质世界是由无数相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程所形成的统一整体。马克思主义的这些哲学思想对发展系统科学具有指导作用。反之，系统科学的研究成果又将为马克思主义哲学的发展提供丰富材料，由系统科学向马克思主义哲学过渡的桥梁，钱学森称为系统论（或系统观）。

客观存在的实际系统种类繁多。按最一般划分方法有：

物质系统与思维系统；

自然系统与人造系统；

物理系统与非物理系统（社会系统，经济系统等）；[330]

简单系统与复杂系统；封闭系统与开放系统；静态系统与动态系统；确定性系统与不确定性系统（包括随机系统与模糊系统）。

四、系统工程及其应用

系统工程是组织、管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的技术（见钱学森等著《论系统工程》）。这是对一切系统都适用的技术——应用的普遍性和广泛性。各种系统不同，就有各种系统工程，如工程系统工程，经济系统工程，社会系统工程等等。这里需要明确的是，首先系统工程是属于技术范畴，应用的对象是系统，用来组织管理系统，使系统具有我们所希望的功能。这项技术不同于其他技术的最明显特点，在于它是软技术。国内目前关于软科学研究的提法，实际上就是系统工程在系统决策上的应用。

国外关于这类应用研究有多种说法。例如：运筹学是指对已有系统增加其效率；管理科学是指企业和公司的经营技术；系统工程是指设计新系统的方法；系统分析是指系统完成给定任务的各种方案选择。如果着眼点放在成本费用方面则叫作费用效果分析；系统研究则是拟制新系统的实现程序。从以上这些说明来看，比较混乱，混淆了技术和理论层次。我们不能照搬这些概念，应该研究一下，将属于技术层次的归到系统工程，属于理论层次的归到运筹学中，这时运筹学概念已不再是国外运筹学原有概念了，系统工程也已不是原来的概念了。最早作出这种清楚划分，界定应用对象、内容和范围的，是“组织管理的技术——系统工程”一文。

系统工程技术是定量技术，概括起来有以下几个方面：①系统建模；②系统仿真；③系统分析；④系统优化。

我们以系统工程用于决策问题为例，用图 2 来描述其全过程。

从这个过程中，可以看出系统工程技术的一些特点：

（1）多学科交叉性研究和应用，在研究系统目的要求和运行机制时，要有决策部门的管理专家、系统工程专家和有关专业专家参加，例如研究经济系统时，要有经济学家参与。这一步的定性讨论对明确建模思想，模型要求具有重要意义。

（2）定性研究和定量研究相结合。二者相辅相成。这里需要强调指出的是，系统建模是定量研究的重要一步。有了模型再借助于计算机就可以把一个在实践中根本无法进行试验的系统在计算机上进行模拟和仿真，这一点对社会经济系统具有特殊重要意义。但也有人认为模型是不准的，计算结果是靠不住的，因为[331]实际系统那么复杂，根本不是用模型所能描述的。这可能是一种误解。其实，模型是对实际系统的一种近似描述，只要模型精度满足所要研究问题的精度要求，

就可以用模型来研究想要探索的问题，如果精度不够，还可以改进模型和调整参数，直到精度满足要求为止。就目前而言，有两个主要因素使系统建模遇到了困难。一个是系统的实际运行机制还不十分清楚，即使有辨识理论和方法，但对复杂系统，这些理论和方法仍有局限性。另一个是有些系统机制虽然都比较清楚了，已是白箱问题，但数学工具不够，人们也无法描述它们。这些困难正是我们需要克服和探索的，而不是由此而否定模型的科学作用。当然，我们也不能把模型绝对化，以为只有模型才是唯一出路。实际上，人们也正在探索其他方法，例如专家系统、人工智能和决策支持系统等，实践已经证明都是很有效的方法。另外，近些年来欧洲共同体的科学家们发展起来的情景分析法也是很有前途的方法。

图 2　系统工程在决策问题中的应用

（3）决策部门和研究部门相结合，这一点是显然的。

在我国，最早应用系统工程并取得显著成就的是航天系统。每一类型号都有一个总体部，实践证明它是非常有效的。钱学森曾说：“总体设计部的实践，体现了一种科学方法，这种科学方法就是系统工程。”

周恩来总理生前曾提出，把航天部总体部的经验推广到国民经济系统。1980年左右，钱学森提出的社会科学工作者与自然科学工作者、工程技术人员相结合[332]的国民经济总体设计部的建议，就是试图把系统工程应用到国民经济系统中去。7 年的时间过去了，实践表明，这是科学的有远见的建议，对于决策科学化、管理现代化具有重要意义。

党的十一届三中全会以来，系统工程已得到了广泛应用，取得了显著成绩。对国家各部门各单位，从微观到宏观的组织管理、领导和决策、规划和计划、预测和可行性研究等都起着日益重要的作用，并越来越引起各级领导、决策部门、学术界以及各行各业人们的广泛注意和重视。这是我国科学事业的重大进步，也标志着我国人民科学水平的明显提高。

尤其值得重视的是，在我国正在进行的体制改革过程中，逐步由过去以经验决策为主转移到以科学决策为主的情况下，系统工程的广泛应用更具有特殊重要意义 e 人们常说，改革是一项综合性的复杂的社会系统工程，改革方案要配套、要充分地科学论证；既要有预测分析又要有可行性研究，等等。这些建议都说明，改革需要系统工程，同时也为系统工程的应用提供了广泛用场。这里使我们再一次想起国民经济总体设计部的重要意义和作用。体制改革的进行和发展必将推动系统工程的应用和发展，从某种意义上说，它可能孕育着一场软技术革命，这是十分令人鼓舞的。

五、系统工程的理论基础

系统工程的迅速发展和广泛应用，是与其理论基础的发展有着密切关系的。作为技术科学层次上的运筹学、控制论、信息论等为系统工程提供了越来越多的理论方法，计算机技术的飞速发展又提供了强有力的技术手段。例如运筹学中的线性规划、非线性规划、整数规划、动态规划、组合优化、博弈论、排队论、对策论、图论，等等，都是十分有用的理论方法。控制论近三十年来发展得也很快。除维纳的控制论外，后来又相继产生了工程控制论、生物控制论、经济控制论和社会控制论。50 年代末 60 年代初，又相继出现了所谓现代控制理论。现代控制理论以系统模型为基础，研究系统结构、参数、性能和行为之间的定量关系，因此，适用范围很广。

以上这些理论都是以系统为研究对象的技术科学。按照钱学森的系统科学体系结构，再往上一个层次，即系统科学的基础科学又是什么呢？换句话说，各种系统有没有共同规律？有那些共同规律？如何认识和利用这些规律去推动技术科学和系统工程的发展从而在更大范围内更深刻地影响和改造客观世界？如同利用门捷列夫元素周期表预见新元素的存在一样，钱学森根据对系统科学体系的研究，已预见到这门基础科学的存在，并提出现在已经到了建立这门学科的时候了。这门科学就是钱学森提出的系统学（systematology）。[333]

奥地利理论生物学家贝塔朗菲是探索系统普遍规律的第一位科学家。在其著作《一般系统理论》这本书中，他曾提出，系统“在不同领域中表现出结构上的

相似性或同构性”。他对系统的共性作出了以下几个概括：

（1）系统整体性，即亚里士多德的著名论断“整体大于各孤立部分之和”。或者换句话说，系统具有其组成部分所没有的功能。人们常说三个臭皮匠凑成一个诸葛亮。这句话的寓意就是系统的整体性。

（2）系统的关联性，指系统组成部分之间以及系统和其环境之间相互关联、相互制约、相互作用，系统关联性决定了系统整体性。

（3）系统动态性，从时间维来观察系统时，系统每时每刻都在变化和运动。真正的静态系统是没有的，而动态系统是绝对的。

（4）系统的有序性，系统关联性在空间上所表现出来的结构层次，以及动态性在时间上所表现出来的演化方向，使得系统具有在空间、时间和功能上的有序性质、越有序的系统其组织化程度越高。一个实际系统，从产生、发展到消亡，就是从无序到有序再到无序的过程。

（5）系统的预决性，系统的有序性使得系统自动导向它的终极状态，这一特点在生命和生物系统中表现得尤为明显。

贝塔朗菲的一般系统理论，虽然想建立各种系统共同规律的科学，但仅限于定性描述，概念的阐发，哲学的味道多些。而真正的理论成果和定量方法还很少。这可能与他所处时代的科学技术水平有关。

60 年代末 70 年代初，在理论物理、化学、理论生物学、控制论和数学等方面都有了新的突破，例如普利高津的耗散结构理论，哈肯的协同学，托姆的突变论，斯美尔—廖山涛动力体系理论，艾肯的超循环理论以及现代控制理论等。所有这些理论突破，都揭示了系统的更深刻性质和普遍规律。

大家知道，长期以来科学家们早已注意到，在生命系统和非生命系统之间表现出似乎截然不同的规律。非生命系统通常服从于热力学第二定律，系统总是自发地趋于平衡态和无序，熵达到极大。系统自发地从有序变到无序，而无序却决不会自发地转变到有序。这一方面说明了这个过程的不可逆性，另一方面也说明平衡态又是稳定态。

但是，生命系统却相反，生物的进化，社会的发展总是越来越复杂。这类系统都能够自发形成有序结构。这两类系统表现出的矛盾有没有内在的联系呢？一些物理化学实验和事实，例如化学振荡实验、化学钟、本纳德花纹等，都证明了在非生命系统中也能自发形成有序结构。这些事实都启发人们，两类系统表观上的鸿沟很可能由相同的规律所沟通。普利高津的耗散结构理论和哈肯的协同学为解决这个问题提供了很好的理论框架。[334]

普利高津的理论认为，热力学第二定律所揭示的是孤立系统（和环境没有物

质和能量的交换）在平衡态和近平衡态（线性非平衡态）条件下的规律。但生命系统通常都是开放系统并且是远离平衡态（非线性非平衡态）。在这种情况下，系统通过和环境的物质与能量交换引进负熵流，在达到一定条件时，就有可能使系统从原来的无序状态自发转变为时间、空间和功能上的有序状态，产生一种新的稳定的有序结构，普利高津称其为耗散结构。这样，在不违背热力学第二定律的条件下，耗散结构理论沟通了两类系统的内在联系，说明了两类系统间并没有真正严格的界限。

哈肯的协同学更近一步指出，系统从无序到有序转化的关键并不在于系统是平衡和非平衡，或者离平衡态有多远，而是由于组成系统的各个子系统，在一定条件下，通过它们之间的非线性作用，互相协同和合作自发产生出有序结构，即自组织结构。这种现象叫作自组织现象，这类系统叫作自组织系统。

哈肯还建立了所谓支配原理：系统在临界点附近的行为仅由少数的变量所决定，这些变量决定了子系统的行为，代表了系统的慢运动，称为序参量，系统的快运动是受慢运动支配的。并提出绝热消去法，从而使这一理论可以达到实用的程度。有些作者已应用这个理论去建立系统模型，例如城市模型等。

现代数学的发展，又为上述理论提供了数学基础。例如，动力体系理论中的分支理论，结构稳定性理论、吸引子理论，等等。

以上我们简单地回顾了一些学科的进展，应该说，他们的成就不仅仅属于所在领域和学科，实际上有着更广泛的意义。在不同领域工作的这些科学家们，都为解决本领域的前沿命题进行着研究和探索，但他们可能未必意识到，他们在理论上的这些突破，正孕育着一门新学科——系统学的诞生。系统的概念、思想和方法及其普遍规律把这些不同领域学科的成就联系和统一起来，这就是系统学产生的科学背景。系统学就是研究系统结构、演化、协同和控制的一般规律的科学。上述提到的那些理论成就都为建立这门科学提供了丰富材料。钱学森说：“我看，‘耗散结构理论’、‘协同学’……都是过往云烟，留下的将是系统学。当然创造耗散结构理论和协同学的普利高津和哈肯是大有功劳的。”又说：“我认为把运筹学、控制论和信息论同贝塔朗菲、普利高津、哈肯、弗洛里希、艾肯等人的工作融会贯通，加以整理，就可以写出《系统学》这本书。”

系统学的建立和发展也必将影响和促进其他科学的发展。因此，建立和发展系统学具有重要的科学意义。正如钱学森所说“我觉得系统学的建立，实际上是一次科学革命，在科学史上的意义不亚于相对论和量子力学”。

本文是根据作者 1987 年在中国科协和北京市科协组织的新技术讲座的讲稿整理而成。[335]

系统工程在决策中的应用

于景元

决策问题并不是新问题，早已有之。决策研究也不是始于今日，它伴随决策问题而出现。同样，决策科学也不是现在才产生的。

然而今天，决策问题却显得十分突出和极其重要，对决策研究的需求也很迫切，决策科学化已成为各级领导和广大群众十分关心的重大问题。这些事实本身也表明，我们的国家在前进，我们的事业在发展，我们的水平在提高。

人们常说，在一切失误中，决策失误是最大的失误；在一切成功中，决策的成功是最大的成功。这虽然是一种形象描述，但却颇具哲理，并已为大量事实所证明。现在的问题是，如何防止或减少决策失误保证决策正确，这也是很值得认真研究的重要问题。

在现代科学技术迅速进步、社会经济不断发展、资源和生态环境日益恶化的情况下，人类面临着越来越复杂的大系统的组织、管理、协调、规划、计划、预测和控制等重大决策问题。这些问题的特点表现在空间活动规模上越来越大，时间尺度上变化越来越快，层次结构上越来越复杂，后果和影响上越来越深远和广泛。正是这些特点，使决策问题变得越来越复杂和越来越困难。也就在这种背景下，国外各种“智囊团”、“咨询机构”、“思想库”、“知识库”、“脑库”等研究机构相继产生出来。如美国的兰德公司、斯坦福国际研究所、布鲁金斯研究所、巴特尔纪念研究所等；日本的野村综合研究所、三菱综合研究所等；英国的伦敦国际战略研究所；意大利的罗马俱乐部；苏联的全苏系统研究所，以及设在维也纳的国际应用系统分析研究所，等等。以兰德公司为例，从 1982 年开始的 16 个研究领域近 300 个研究项目中，包括了政治、经济、军事、外交、科技、教育、法律、医疗卫生、生态环境、资源等各种各样决策问题研究。这些研究为决策者提供了所需要的各种“知识”、“信息”和科学依据。这些机构实际上起着联结“知识”和“权力”的桥梁作用，把知识变成力量。

我国正在进行现代化建设，在坚持四项基本原则的同时，积极推行改革、开放和搞活的方针。不仅在经济、科技、教育方面进行了改革并取得了显著成绩，同时还要进行政治体制改革，全面改革之花必将开满中国大地。从某种意义上说，改[336]革的过程就是不断的决策过程、决策的实施过程、实践的检验过程和反馈

过程。如果说我国的出路在于改革，那么改革的成功在于科学决策。

今天我们所面临的决策问题，起码在以下三个方面是不同于过去的：

（1）决策的问题新，很多是我们过去未曾遇到过的。这就要求我们不能满足已有的决策经验，要探索、要改革决策方式和决策方法。

（2）决策的问题复杂，这就要求我们研究和应用现代科学决策方法，提高决策水平。

（3）决策的问题变化快，这就要求我们提高决策效率。

总之，我们应该最大限度利用现代科学技术成就为决策服务，力求决策科学化，尽量减少和避免决策失误。

去年七月，国家科委主持召开了全国软科学研究座谈会。所谓软科学研究实际上就是决策研究，或者说是为科学决策服务的研究。座谈会的主题是如何加强软科学研究，以便为决策提供充分的科学依据，推进决策科学化，加速我国四个现代化的进程。这样的会议在我国历史上可能还是第一次，但它标志着我国软科学研究已进入了新的阶段，软科学的春天已经到来。

著名科学家钱学森在这次会议的讲话中指出，软科学研究也就是系统科学在决策中的应用研究，特别是系统工程技术在决策中的应用。本文的目的就是在介绍系统科学体系结构的基础上，着重说明系统工程在决策中的应用。

一、系统科学体系结构

按照钱学森提出的现代科学技术体系结构，每一科学技术部门均可分为三个

（1）直接改造客观世界的是工程技术。

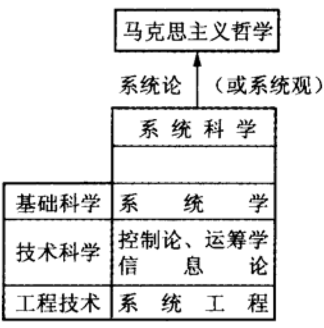
（2）为工程技术直接提供理论基础的是技术科学。

（3）在技术科学的基础上，进一步抽象概括成为认识、揭示客观事物规律的基本理论，这就是基础科学。如再进一步概括，就是马克思主义哲学内容了。

系统科学是一个正在形成和发展的新兴科学技术部门。它也由三个层次构成（见下图）：处在工程技术层次上的是系统工程，处在技术科学层次上的有控制论、运筹学、信息论，处在基础科学层次上的是系统学。虽然其中有的学科如控制论、运筹学、信息论等都有较长的历史，但就整个体系而言是新的，是近些年的事。其中系统学是正在建立的一门科学。

任何一门科学都有其研究对象。自然科学是研究物质运动规律的，社会科学是研究人类社会活动规律的，等等。那么系统科学的研究对象是什么呢？回答是[337]明确的。系统科学作为一个科学技术体系部门，不管在哪一个层次上，哪一门学科，都是以系统作为研究和应用对象的。既然如此，那么系统又是什么？系

统科学体系不同层次上的学科，研究系统的内容又是什么呢？为此，我们要对系统给以必要的说明。



二、系统及其有关概念

国内外关于系统有几十种定义，各有各的说法，很不一致。但归纳起来大体上有两种情况，一种是描述性的，另一种是数学公理化叙述方法。这里采用描述性方法。

所谓系统是指由互相关联、互相制约、互相作用的一些部分组成的具有某种功能的总体。这样定义的系统具有概括性和抽象性。一个系统具有什么组成部分？它们是如何关联、制约、作用的？具有什么功能？只有对具体实际系统才能具体化。例如太阳系是一个系统，它由太阳和九大行星所组成，通过万有引力的作用，互相关联和制约，使得每个行星都在自己确定的轨道上运行，这就是太阳系的功能。同样，人体是一个系统，一个工厂企业是一个系统，一个国家也是一个系统。

互相关联、互相制约、互相作用的组成部分叫作系统结构。组成部分本身也可能是一个系统，叫作原系统的子系统。而原系统又可能是更大系统的组成部分，这就是系统概念的相对性。

一个系统以外部分叫作系统环境。系统和系统环境的分界叫作系统边界。我们研究具体系统时，必须明确系统边界。

系统对其环境的作用叫作系统输出，环境对系统的作用叫作系统输入。

系统结构和系统环境决定了系统功能。系统功能是通过系统输入—输出关系表现出来的。系统每时每刻所处的情况叫作系统状态，系统状态随时间的变化叫作系统行为。[338]

具有相同组成部分的系统可以具有不同的系统功能，因为它们关联、制约、作用关系不同。例如固态的冰、液态的水、气态的水蒸气，虽然都是氢二氧一所组成，但它们的宏观性质却大不相同。尤其值得提出的是，它们都具有其组成部

分氢氧所没有的性质。这就是系统的整体性质，也就是亚里士多德的著名论断“整体大于各孤立部分之和”。我们常说三个臭皮匠凑成一个诸葛亮，用系统观点来说，三个臭皮匠组成的系统具有诸葛亮功能，而它的组成部分只有臭皮匠功能。

改变系统组成部分或者改变其相互关联、制约、作用关系可以改变系统功能，特别是使系统具有我们所希望的功能。这就是控制论、运筹学、系统学的基本思想，也是系统工程应用的基本目的。

系统组成部分相互关联、制约和作用，是通过物质、能量和信息形式实现的。任何千个具体系统都是物质的，占有一定空间形式并随时间发展而变化。

系统在自然界、人类社会包括人类自身在内是普遍存在的。从微观的基本粒子系统到宏观宇宙系统，有先于人类早已存在的自然系统，如太阳系、生态系统；也有人们制造的所谓人造系统，有简单系统；也有像人类社会这样复杂的大系统。

系统存在的普遍性是有其马克思主义哲学基础的。辩证唯物主义认为，物质世界是由无数相互联系、相互依赖、相互制约，相互作用的事物和过程所形成的统一整体。马克思主义的这些哲学思想对发展系统科学具有指导作用。反之，系统科学的研究成果又将为马克思主义哲学的发展提供丰富材料。由系统科学向马克思主义哲学过渡的桥梁，钱学森称作系统论或系统观。

客观存在的实际系统种类繁多。按最一般划分方法有：

物质系统与思维系统；

自然系统与人造系统；

物理系统与非物理系统（社会系统、经济系统等）；

简单系统与复杂系统；

封闭系统与开放系统；

静态系统与动态系统；

确定性系统与不确定性系统（包括随机系统与模糊系统）。

掌握系统概念，运用系统观点对观察和研究问题是很有帮助的。

三、系统工程及其在决策中的应用

首先，我们应该说明，到底什么是系统工程，如何应用系统工程。

系统工程是组织、管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的技术（见钱学森著《论系统工程》，湖南科学技术出版社，1982）。这是对一切系统都适用的[339]技术——应用的普遍性和广泛性。各种系统不同，就有各种系统工程。如工程系统工程，是指工程系统的组织和管理，经济系统工程则指经济系统的组织和管理，等等。这里需要强调的是，首先系统工程是属于技术范畴，它的应用

对象是各种各样的系统，目的是用来组织管理系统，使系统具有我们希望的功能。这项技术不同于其他技术的最明显特点，在于它是软技术。如同计算机中的软件和硬件，硬件是摸得着看得见的，而软件是摸不着看不见，但它却像灵魂一样把计算机各个部分协调起来运行自如。所以，我们决不能因为系统工程是软技术就“欺软怕硬”。其实，软技术并不软，它的价值也就在“软”上。而且正如有人讲的那样，“软技术需要硬功夫”。

国外关于这类应用研究有多种说法。例如：

（1）运筹学是指对已有系统增加其效率；

（2）管理科学是指企业和公司的经营技术；

（3）系统工程是指设计新系统的方法；

（4）系统分析是指系统完成给定任务的各种方案选择。如果着眼点放在成本费用方面，则叫作费用效果分析；

（5）系统研究则是指拟制新系统的实现程序。

从以上这些说明来看，比较混乱，混淆了技术和理论层次。我们不能照搬这些概念，应该研究一下，将属于技术层次的归到系统工程，属于理论层次的归到运筹学中。当然，这时运筹学概念已不再是国外运筹学原有概念了。系统工程也已不是他们原来的概念了。钱学森等在“组织管理的技术——系统工程”一文中最早作出了这种清楚划分，并界定应用对象、内容和范围。、

既然系统工程是组织管理系统的技术，那么它就必有一套科学方法。一般地说，这些方法有定性的，也有定量的以及二者相结合的。但从根本上来说，系统工程是一门定量技术。概括起来包括以下四个方面：

（1）系统建模；

（2）系统仿真；

（3）系统分析；

（4）系统优化。

系统建模是指将一个实际系统的结构、输入—输出关系、系统功能用数学模型、逻辑模型等描述出来。用对模型研究来反映对实际系统的研究。

有了系统模型后，借助于计算机就可以模拟系统行为和功能，这就是系统仿真。它相当于在实验室内，对实际的具体系统作实验。

通过系统仿真，可以研究在不同输入下系统的反应、系统的动态特性以及系统未来行为的预测等等，这就是系统分析。[340]

系统优化的目的是在找出使系统具有我们所希望的性能的前提下，应采取的最优、次优或满意的策略、政策。

下面，介绍两个我们作过的宏观决策问题来说明系统工程的应用。

1．人口控制问题

人口问题是我国面临的严重问题之一。如何进行计划生育控制人口增长，使人口与经济和生态环境协调发展，以加速四个现代化的进程，这是一个重大决策问题。控制人口只能控制出生，我国是通过控制妇女生育率来控制人口发展趋势的。如何控制妇女生育率以使人口控制在适当水平上，这就要有正确的人口政策。这里仅仅涉及的是人口数量控制，还没涉及到人口质量问题。很明显，这样的决策不仅要有人口学、经济学、社会学、行为科学、心理学、医学、民族学等的研究，同时也要有定量研究的支持。只有定量研究才能回答，基于不同的妇女生育水平，我国人口数量未来的变化趋势如何。例如，平均一对夫妇生一个孩子时，我国人口数量是怎样变化的，生两个孩子时又是如何变化的，等等，只有对这些心中有数时，我们才能决策：现阶段应大力提倡一对夫妇生一个孩子，而不能普遍生两个孩子，更不能生三个以至更多。定量回答这些问题就要作人口系统预测。而系统预测则是系统工程的典型命题。我们和其他有关单位就是通过建立人口系统数学模型，利用计算机进行了我国人口长期发展趋势预测的。

2．财政补贴、价格、工资综合平衡的研究

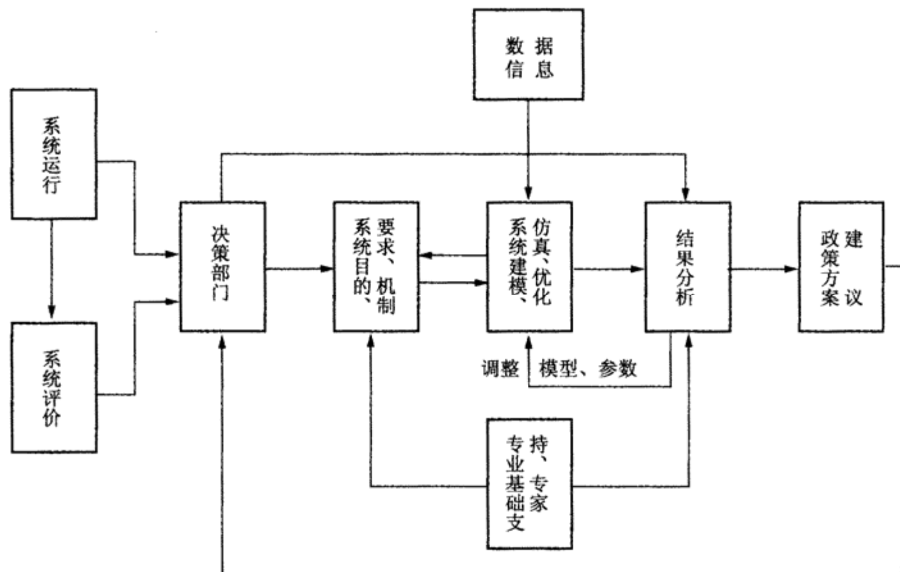
1979 年以来，由于实行对农副产品收购提价和超购加价政策，提高了农民收入，再加上农村责任制的落实，提高了农民生产积极性，大大地推动了农业生产发展。但是，由于销售价格当时没有作相应调整，随着农业连年丰收，超购加价部分迅速增大，扩大了购销价格倒挂的差距。社会零售价格水平由于作了大量财政补贴而被抑制和扭曲，结果给国家财政带来了越来越沉重的负担，形成了极不正常的经济状态：农业越丰收，财政补贴越多，致使国家财政收入增长速度明显低于国民收入增长速度，财政收入占国民收入的比例逐年下降。

财政补贴产生的这些问题，引起了有关方面的极大重视。1982 年国家体改委提出，如何运用价格和工资两个经济杠杆，逐步减少以至取消粮油价格补贴。然而，调整粮油价格必然牵动食品类价格指数，从而影响国营消费晶价格指数和社会零售物价指数等的变化。价格调整又影响到人民生活，如果伴以工资调整又涉及到财政负担能力、市场平衡、货币和储蓄等。经济生活中这些复杂的连锁反应，都是系统概念的具体表现。

我们建立了财政补贴、价格、工资综合平衡模型，用于研究价格和工资调整对财政收支平衡、社会购买力和商品可供量平衡、信贷平衡和物价指数的定量关系，并预报国家、企业和个人利益关系以及人民生活水平方面的动态态势。应用这个[341]模型在大型计算机上作了 105 种政策模拟，得到了数量结果，为领导决

策提供了参考信息。

一般说来，可以把系统工程在决策中的应用，概括和表示在如下图中：



从这个过程中，可以看出系统工程的一些特点：

（1）多学科交叉性研究和应用。在研究系统目的、要求和运行机制时，要有决策部门的管理专家、系统工程专家和有关专业专家参加。例如，研究经济系统时，要有经济学家参与。这一步定性讨论对明确建模思想、模型要求和功能具有重要意义。同样，在讨论结果分析时也是如此。

（2）定性研究和定量研究相结合。这两者是相辅相成的。这里需要强调指出的是，系统建模是系统工程应用的重要一步。有了模型再借助于计算机就可以把一个在实践中根本无法进行实验的系统在计算机上进行模拟和仿真。这一点对社会经济系统具有特殊重要意义。但是，目前对模型也有不同看法，有人认为模型是不准的，计算结果也是靠不住的。因为实际系统那么复杂，根本不是用模型所能描述的。这可能是一种误解。其实，模型是对实际系统的一种近似描述，我们不可能也没必要把实际系统的所有因素都在模型中反映出来，如果真的做到了这一点，那也不是系统模型而是系统实体了。我们只能抓住主要因素在模型中反映出来，只要模型精度满足所要研究问题的精度要求，就可以用模型来研究想要探索的问题，如果精度不够，还可改进模型和调整参数，直到精度满足要求为止。就目前而言，有两个主要因素使系统建模遇到了困难。以致对相当一些系统，我[342]们还不能甚至还不会建模。一个是系统的实际运行机制还不十分清楚（即所

谓黑箱或灰箱），即使有辨识理论和方法，但对复杂系统，这些理论和方法仍有局限性。另一个是有些系统机制虽然都清楚或比较清楚了，已是白箱问题，但数学工具不够，人们也无法描述它们。这些困难正是我们需要克服和探索的，而不是由此而否定模型的科学作用。当然，我们也不能把模型绝对化，以为只有模型才是唯一出路。实际上，人们也正在探索其他方法，例如，专家系统，人工智能、决策支持系统和层次分析法等，实践已证明，这些都是很有效的方法。

总之，系统建模是一种科学方法，应积极研究和应用，不用白不用。另一方面，它也有局限性，我们还要研究其他方法。这可能也是我们对模型问题应采取的正确决策。

（3）决策部门和研究部门相结合。这两者是处在不同层次上的，如果结合得好，它的功能绝不是 1+1＝2，而要大得多。我们可以应用系统观点来研究这两者如何结合成一个有效的系统。例如，决策部门是否认为研究部门是可有可无的，或者研究部门置决策部门之急于不顾，而去研究自己有兴趣的问题。决策部门对研究部门是“关、卡、压”还是“开、放、支”。研究部门对决策部门是否是透明的，还是封锁甚至蒙混人家。决策部门特别是主要决策者，对研究部门的成果应采取什么态度。有的决策者对凡“合吾意”者大加赞扬，不合意者便打人地下，至于研究结果是否科学则不是主要的。对研究部门来说，有的研究人员只以决策者的“喜怒哀乐”为唯一标准，甚至不惜采取凑数的办法取得决策者的喜欢，这是很不对的。诸如此类的问题还很多。总之，如果能把这些关系理顺，协同好，我们就能取得意想不到的成效。在这方面，我们有优越的社会主义制度和党的坚强领导，理应比资本主义国家会作得更好，成效应该更大。

在我国，最早应用系统工程并取得显著成就的是航天系统。每一类型号都有一个总体设计部。实践证明它是非常有效的。钱学森曾说“总体设计部的实践，体现了一种科学方法，这种科学方法就是系统工程”。

周恩来总理生前曾提出，把航天部总体设计部的经验推广到国民经济系统。1980 年左右，钱学森提出的社会科学工作者与自然科学工作者、工程技术人员相结合的国民经济总体设计部的建议，就是试图把系统工程应用到国民经济系统中去。7 年时间过去了，实践已经表明，这是科学的有远见的建议，对于决策科学化、管理现代化具有重要意义。

党的十一届三中全会以来，系统工程已得到了广泛应用，取得了显著成绩。例如国家科委十二项科技政策的研究和制订，国务院经济技术社会发展研究中心关于“2000 年的中国”的预测研究、航天部 710 所、西安交大、上海交大、中科院系统所关于人口控制的定量研究，国家计委预测中心关于国民经济系统定量研

究，[343]等等。系统工程对国家各部门各单位，从微观到宏观的组织管理、领导和决策、规划和计划、预测和可行性研究等都起着日益重要的作用，并越来越引起各级领导、决策部门、学术界以及各行各业人们的广泛重视和注意。这是我国科学事业的重大进步，也是我国人民科学水平的明显提高。

尤其值得重视的是，在我国正在进行的体制改革过程中，系统工程的广泛应用更具有特殊重要意义。人们常说，改革是一项综合性的复杂的社会系统工程，改革方案要配套，要有充分的科学依据，既要有预测分析又要有可行性论证，等等。这些建议都说明，改革需要系统工程，同时也为系统工程的应用和发展提供了极好的机会和用场。

系统工程的迅速发展和广泛应用，与其理论基础的发展有着密切关系。作为技术科学层次上的运筹学、控制论、信息论等为系统工程提供了越来越多的理论方法，计算机技术的飞速发展又提供了强有力的技术手段。例如，运筹学中的线性规划、非线性规划、整数规划、动态规划、组合优化、博弈论、排队论、对策论、图论，等等，都是十分有用的理论方法。控制论近 30 年来发展得也很快，除维纳的控制论外，后来又相继产生了工程控制论、生物控制论、经济控制论和社会控制论。50 年代末 60 年代初，又出现了所谓现代控制理论，如线性系统理论、非线性系统理论、系统辨识理论、系统能控性、能观性理论、系统稳定性理论、最优控制理论、最优滤波和随机控制理论、自适应控制理论，等等。这些理论特点是以系统模型为基础，研究系统结构、参数、行为和性能之间的定量关系。因此，适用范围很广。

以上有关运筹学、控制论、信息论这些理论都是以系统为研究对象的技术科学。再往上一个层次，即系统科学的基础科学又是什么呢？换句话说，各种系统有没有共同规律？如何认识和利用这些规律去推动技术科学和系统工程的发展从而在更大范围内更深刻更广泛地影响和改造客观世界？钱学森根据对系统科学体系研究，已预见到这门科学的存在，并提出现在已经到了建立这门学科的时候了，这门科学就是前面提到的系统学。

系统学是研究系统结构、演化、协同和控制的一般规律的科学，钱学森指出：“我认为把运筹学、控制论和信息论同贝塔朗菲[1]、普利高津[2]、哈肯[3]、弗洛里希[4]、艾肯[5]等人的工作融会贯通，加以整理，就可以写《系统学》这本书。”

系统学的建立必将推动控制论、运筹学、信息论这些技术科学和系统工程的发展和应用。也将影响和促进其他科学技术部门的发展。因此，建立和发展系统学具有重要的科学意义。

总之，一方面我们应大力推广和应用系统工程，另一方面，我们还要积极发

展系统工程的理论基础，特别是处在基础科学层次上的系统学。把握住这两个方[344]向，为发展系统科学及其应用而努力，为决策科学化多作贡献，这是我们的光荣任务。

本文是根据作者 1986 年在国家科委组织的全国软科学座谈会上的发言稿修改而成。并作为由中组部、中宣部、中国科协等单位组织的科学决策学术报告会的讲稿。

参考文献

[1] 贝塔朗菲，提出了一般系统论。
[2] 普利高津，耗散结构理论创始人。
[3] 哈肯，创建了协同学。
[4] 弗洛里希，著名系统科学家。
[5] 艾肯，提出了超循环理论。
[345]

工程控制论

宋 健

控制论的一个分支学科，是关于受控工程系统的分析设计和运行的理论。法国物理学家和数学家安培（A. M. Ampère，1755—1836）于 1834 年用控制论（cybernétique）这一名词称呼管理国家的科学。第二次世界大战前后，自动控制技术在军事装备和工业设备中开始应用，实现了对某些机械系统和电气系统的自动化操作。美国、日本和苏联的科学家们（C. Shannon，1938；A. Nakasima，1938；В. И. Нестаков，1941）先后创立了用仅有两种工作状态的，继电器组成逻辑自动机的理论，并用于实践。在这一时期前后又出现了关于信息的计量方法和传输理论（R. V. L. Hartly，1928；C. Shannon，1948）。在这些科学成就的推动下，曾亲自参加过自动机研制的美国数学家维纳（N. Wiener，1894—1964）于 1948 年把这些概念和理论应用于动物体内自动调节和控制过程的研究，把后者与机器中的信息传递和控制过程视为具有相同机制的现象加以研究，并称为控制论（cybernetics），这一名词随即为世界科学界所袭用。1954 年钱学森所著《工程控制论》一书（英文版）问世，第一次提出在工程设计和实验中能够直接应用的关于受控工程系统的理论、概念和方法。随着该书的迅速传播（俄文版 1956 年，德文版 1957 年，中文版 1958 年），它为这一学科所赋予的含义很快被世界科学技术界所接受。按钱学森的定义，工程控制论的对象是研究控制论这门科学中能够直接应用到工程设计的那些部分。它是一门技术科学，其目的是把工程实践中所经常运用的设计原则和试验方法加以整理和总结，取其共性，并提高到科学理论的水平，使科学技术人员的眼界更加开阔，用更系统的方法去观察技术问题，从而充分理解和发挥这门新技术的潜在力量，指导千差万别的工程实践，推动系统工程的发展。

理论范畴：工程控制论的研究对象和理论范畴不断在扩大。近 20 年来该学科的各个方面都有了很大的发展。到目前为止，它所包含的主要理论和方法有下列六个方面。

（1）系统辨识和信息处理　由于工程控制论中的所有概念和方法都建立在定量研究的基础上，为了实现对工程系统的控制，精确地定量描述它的行为和结构就具有决定性的意义。找出能够完全描述系统状态的所有变量，区分为输入量，[346]受控量和控制量等不同类别，把以机械的、电的、光的、声的等各种物理信

号形式表现出来的变量从各种偶然因素和噪音中提取出来，确定各变量在各种不同条件下的变化规律，这是系统辨识理论的任务。用滤波、预测、相关处理、逼近等方法从噪音中分离出具有本质意义的信息以及寻求各变量之间的相互依赖程度。近年来发展起来的模式识别理论（pattern recognition）和方法，能够对已经提取出来的物理信号和信息进行更精细的分析，以便用机器手段去理解它的含义，并用文字或图形显示出来，为管理和操作人员提供准确的信息，它是信息处理理论的新成就。

（2）模型抽象　对于受控客体的静态和动态特性的精细描述，常用建立数学模型的方法。成功的数学模型能更深刻地、集中地和准确地定量反映受控系统的本质特征。借助数学模型，工程设计者能清楚地看到控制变量与系统状态之间的关系，以及如何改变控制变量才能使系统的参数达到预计的状态，并且保持系统稳定可靠地运行。数学模型还能帮助人们与外界的有害干扰做斗争，指出为排除这种干扰所必须采取的措施。根据具体受控工程的特点，可以用代数方程式、微分方程式、积分方程式、逻辑代数式、概率论和模糊数学等数学工具去建立数学模型。对复杂的系统常要用到由数种数学工具联合起来的混合模型去实现对工程系统的完全描述。这种根据实验数据用数学工具去抽象受控工程对象的特征称为模理论（theory of modelling）。

（3）优化控制　欲使工程系统按希望的方式运行，完成预定的任务，应该正确地选择控制方式。几乎所有的工程系统都有共同的特性：为达到同一个目标，存在着许多控制策略。不同的控制策略所付出的代价也各异，例如能量消耗，所费时间的长短、材料、人力和资金的消耗等均不相同。研究如何以最小的代价达到控制的目的称为最优控制理论。寻求以最短时间达到控制目的理论称为最速控制理论。线性规则、动态规划、极大值原理、优化理论等都是业经实践证明具有严密结构的最优控制理论。为了解决最优控制的工程实现问题，科学家们创造了很多适用于计算机程序的算法称为优化技术。最优控制理论和优化技术的建立是工程控制论中最突出的成就。

（4）自我进化　受控系统的工作环境、任务和目标常发生变化。为了使工程系统能自动适应这些变化，科学家们创立的一系列设计原理和方法，赋予系统以自我进化的能力，即根据变化了的环境条件或工作任务，系统能够自动改变自己的结构、参数和获得新的功能。最早出现的是自稳定系统（W. R. Ashby，1952），它能在环境条件发生剧烈变化时自动地改变自己的结构，始终保持稳定的工作状态而无需操作人员去干预。用自适应控制理论（adaptive control）设计的工程系统能自动地对外界条件变化做出反应，改变自己的结构参数，保持高的性能和

精度。[347]计算机应用于工程系统以后，由于具有信息记忆和存贮能力，出现了自学习系统 （learning system)。经过有经验的操作人员示教以后，系统把一切操作细节记忆下来，从此能准确地自动再现已学到的操作过程，完成指定的任务。只要存贮记忆容量足够大，同一工程系统可记忆若干种操作过程，就成为多功能系统。把专家们在某一专门领域中的知识和经验存贮起来，工程系统就获得处理复杂问题的能力，这称为专家系统（expert system)。为完成不同的任务而能自动重组结构的系统称为自组织系统（self-organizing system)。动物界中特别是灵长目动物大脑的机能至今是科学界引人入胜的研究课题。工程控制论的研究工作一直受着仿生学（bionics）新成就的启发和鼓舞，不断引进新的概念，发展新的理论，以求部分地模仿生物的技能。能够辨识人的声音，认识和翻译文字、具有不断增长的逻辑判断和自动决策能力的智能系统，已在工业生产领域和服务产业中广泛采用，这是具有自我进化能力的工程控制论系统的最新成就。

（5)容错系统　关于提高系统工作可靠性的理论一直是工程控制论这门学科的中心研究课题之一。早期的研究集中在如何用不太可靠的元件组成可靠的系统（J. von Neumann，1952）上。例如，人的大脑中每天都有成千上万个脑细胞死亡，却仍能在数十年内可靠地工作而不出现故障。用设置备份的办法去提高可靠性称为冗余技术，它至今仍被大量采用。自诊断理论是关于自我功能检查并发现故障的理论。按这种理论设计的工程系统，能自动地定期诊断全系统和组成部分的功能，及时发现故障，自动切换备份设备或器件，从而恢复系统的正常功能。有的系统能在全部运行过程中连续地进行自我诊断。利用纠错编码理论可以自动地发现工程系统中在信息传输过程中可能发生的差错，自动地纠正错误，使系统的功能不受损害。在不可能纠正时，则剔除错误信息，或让系统重复操作，以排除偶然差错。对不能简单排除的故障，则选用无需故障部件参与的其他相近的功能代替。自我诊断理论、检错纠错理论、最优备份切换理论和功能恢复技术总称为容错理论。

（6）仿真技术　在系统设计和制造过程中，不能在尚未建成的工程系统上进行实验、或者由于代价太高而不宜进行这种实验。用简单的装置和不同的物理过程去模拟真实系统的受控运行过程称为仿真技术。早期曾以物理仿真为主，即用不同质但易于实现，易于观察的物理过程去模仿真实的过程。模拟计算机（analog computer）是专为仿真技术而发展起来的技术，它利用电信号在电路中的变化规律去模仿物理系统的运动规律。数字计算机出现以来，又有混合计算机（hybrid computer）作为仿真工具。随着数字计算机运算速度和存贮容量的提高，数字计算机已成为仿真技术的主要手段。在这里，只需要编制相应的软件就可模拟各种

不同性质的物理过程。仿真技术是在工程控制论学科中发展起来的强有力的实[348]验技术，使设计师们能在极短时间内，用很小的代价在实验室内进行庞大工程系统的实验。

（7）应用领域的演变　工程控制论发源于纯技术领域。转速、温度、压力等机械和物理变量的自动调节等是最早期的工业应用，而自动调节理论是对这一时期技术进步的理论总结。第二次世界大战前后出现的自动化防空系统和自寻目标的导弹系统，促进了伺服机构和自动控制技术的广泛应用。自动调节理论，经过发展和提高以后，上升为自动控制理论。随着第一台电子数字计算机的出现（ENIAC，1946），技术界开始研制具有数学运算能力和逻辑分析功能的自动机，自动控制系统随即获得了智能控制成分。价格低廉的微型计算机大量进入市场，自动化工程系统随即全面地进入了智能阶段，自动控制理论的全部含义遂得以展开。从此，工程控制论的概念、理论和方法开始从纯技术领域溢出，涌进了许多非技术部门，派生出了社会控制论、经济控制论、生物控制论、军事控制论、人口控制论等等新的专门学科。这些新学科一出现，便与它们的先行者并驾齐驱，并且根据各自领域的特点，又抽象出新的概念，创造新的理论和方法，从而赋以新的内容。另一方面，它们毕竟是孪生学科，有共同的渊源，在前进过程中能彼此借鉴和相互补充。它们所共有的那些原理、理论和方法，作为广义控制论的基本内容，又促进了另一门更广泛的学科——系统工程的诞生（参见系统工程）。

工程控制论进入社会科学领域是当代重大科学技术成就之一。主要是由于信息科学技术的巨大进步，“工程”的含义在不断扩展。继早期的纯技术工程（机械、电力、化工、水利、航空、航天等）之后，传统上属于社会科学范畴的问题已能用工程方法去处理，而且无不得到比纯行政管理方法更准确、更富于预见性的效果。对社会事务的具体部门进行状态分析、政策评价、态势预测和优化决策时，常常得到意想不到的新发现，导致巨大的经济效益和社会效益。

在社会工程中应用工程控制论所依靠的技术手段与在纯技术工程中完全不同。信息的采集要靠统计，状态分析依靠以计算机为中心的数据通讯网络。社会事务的定量模型被贮存在计算机的数据库中，成为所要研究或管理的那些社会领域的动态映像。在社会领域中进行新的政策性试验要费很长时间，还常伴有一定的风险，故数学仿真在这里起着非常重要的作用。状态分析、模型提取、系统设计和政策优化等都能在实验室内于极短的时间内完成。政策变量的设置和实施只能用政令法令的形式和通过有关政府或事业管理机构来推行，而不能像在纯技术工程中那样用机械的或其他物理信号去驱动。状态反馈也要在人的参与下经过信息网络回授。所以，以计算机为中心的信息系统是社会工程的技术基础，也是工

程控制论之所以能用到社会范畴的先决条件。此外在模型抽象和政策优化分析中，经常用到运筹学、博弈论、规划论、排队论、库存论等历史上独立于工程控制[349]

论之外并行发展起来的理论，出现了各新兴决策学科在工程实践中荟萃、补充的新局面。

原载《系统工程理论与实践》1985 年第 2 期。

参考文献

[1] 钱学森等：《工程控制论》，科学出版社，1958 年；修订版，1982 年。

[2] N. Wiener：*Cybernetics-Control and Communication in the Animal and the Machine*，Technoloty Press. 1948.

[3] А. Г. Ивахненко，Техническская，Кибернетика Киев，1962.

附录

在上海机械学院系统工程研究所成立大会上的讲话

钱学森

一到学校就到会场来了，要我讲话，确实没有准备。因为今天早上才知道我今天下午可以抽出时间来，做不同于到上海来本来要办的另外一件事情。我脑子里只记得机械学院成立了一个系统工程系，系的主任是车宏安同志，所以早上就打电话找他。据说你们今天早上在紧张地做准备工作，所以没有找到。到下午一点半，才联系到，我就马上来了。我住的地方离这里相当远，走了差不多一个小时。就是这么一个经过，所以我不可能有准备。讲什么东西呢？我想，先讲一下最近在北京开的全国系统工程学术讨论会。不久以前，我们在北京跟中国科学院，中国科会科学院，还有一机部、二机部、三机部、四机部、五机部、六机部、七机部、八机部，还有部队许多单位、国防工办、国防科委一起提议，开了一个全国的系统工程学术讨论会，这个会特别值得说的，就是我们本来没有准备邀请国务院的领导同志来光临我们的会议作指导，而是向他们报告，说是我们要开这么一个会。在开会那一天，王震副总理、耿飚副总理、张爱萍副总参谋长和李达副总参谋长，都亲自到会议来见大家，祝贺会议的召开。各机械工业部和其他单位的领导同志，中国科学院的严济慈副院长，都到会场来参加第一天的开幕式，这说明我们国家的领导，国务院的领导，各部门的领导对于系统工程这一件事情是多么的重视。也就是说，我们研究所的同志，我们系里的同志现在搞系统工程的工作，在我们国家实现社会主义的现代化这样一个伟大的长征中，是什么样的一个位置，我看那次系统工程学术讨论会的第一天开幕的情景给我们讲清楚了。党的三中全会，全国五届人民代表大会第二次会议，中央的领导同志都讲得很清楚，我们要实现四个现代化。系统工程是和提高我们国家的组织管理的水平这样一件事联系着的，四个现代化的关键，是科学技术的现代化，而科学技术要现代化，就关系到组织管理的水平要大大提高，当然其他三个现代化也是要大大提高组织管理水平。会议开幕式的情景，就是表示我们国家的领导看清楚了这样一个关系，

重视系统工程[351]这件事情。

我想，在我们国家要搞系统工程，当然要向国外的先进经验学习。国外这一方面的工作，我们要很好地学习，因为我们搞得晚了。在国外，系统工程这一方面的工作，开展得比我们早得多，我们既然搞晚了，应该当小学生，这是应该有的态度。我想另外一个方面，我们也要记住，我们这个国家的社会制度跟很多西方国家的社会制度是不一样的，而系统工程这样一个事业，这样一门科学，它又跟社会的现象有密切的联系。因此，社会制度的不同，是必须要考虑到的一个问题。在系统工程学术讨论会上就有一位同志，就是中国科学院数学研究所运筹学研究室的刘源张同志，在他的发言中就强调说社会制度不一样，可以影响到人，因为人是社会的人，系统工程讲组织管理，当然要涉及到人。因此他在发言中说，由于这样的一个关系，我们搞系统工程必须要注意到这一点，就是社会制度的不同。我想这个话他讲得很通俗，但是道理是很深的。再有一点，就是我们是社会主义的国家，我们是中国共产党领导的国家，我们的党历来教导我们，我们的思想必须有马克思主义哲学的指导，我们搞系统工程也当然要用马克思主义的哲学来指导，这样才能够看得更深刻，看得更远。所以我想，由于这两点，无论是系统工程的研究也好，系统工程的教学也好，我们千万不要忘记，我们社会制度的不同，要看到我们的一切事业都是在中国共产党领导下，而我们一切的科学技术必须以马克思主义的哲学作指导。这样讲，是不是有点空，到底是什么意思啊？我想并不空的，比如说在系统工程刚开始的时候，或者说从 40 年代、50 年代由军事运筹学或者军事系统工程，那时叫运筹学，逐步地发展起来，由于这些概念，这些“系统”的概念，在国外是比较陌生的，就引起当时很多搞运筹学，我们叫搞系统工程的国外同志，说“系统”的概念，整体的概念好像是 20 世纪 40 年代的新发现。这样一个观点，从马克思主义的哲学，辩证唯物论的观点来看对不对呢？我想大家这么一想，恐怕这个结论很显然的不能这样讲。不能说“系统”的概念、整体的概念到了 20 世纪 40 年代、50 年代才冒出来的，哪有这样的事情呢。

“系统”的概念，这是人们长期的社会实践逐步形成的，而且从我们的观点来看，这些概念，比如说局部与整体的辩证关系，在我们应该说是常识。因为最明确地讲到这个问题，阐述这个问题的是在马克思主义的经典著作当中，这是早就讲的比较清楚的。比如说，恩格斯在《费尔巴哈和德国古典哲学的终结》这篇经典著作中就有一大段阐述怎么来认识我们的客观世界。大约 100 年前了，他就指出了客观世界是一个联系的整体，我们看客观世界，一定要把它看成是一个过程的集合体，是集合体那就是“系统”，是过程那就是不断变化，恩格斯说这是一个伟大的思想，而且说当科学认识到这个问题了，所谓自然哲学，旧的哲学观点，

也就自然地要消亡。恩格斯讲的跟现在系统工程里讲的“系统”这个概念，我看没有多大区[352]别，你要说我们人是什么时候明确地有了“系统”的概念，依我的看法那是在 100 年以前，在马克思主义哲学形成的时候，这个概念就明确了，所以不是新的。那么系统工程是不是老的呢？不是。因为系统工程不光是系统，而是工程。工程是什么呢？工程就是要客观地改造，科学地改造客观世界。科学地改造客观世界，这是工程。它是科学的，不能蛮干，也就说必须掌握客观世界的规律，然后利用这个规律，能动地去改造客观世界。你不能乱来，你要尊重客观世界的规律，这就有一个认识客观世界规律的过程。然后您要能动地利用这些规律来改造客观世界，这就说明为什么系统工程直到 20 世纪的 50 年代以后才出现。因为事物的形成，必须有它一定的历史条件。虽然恩格斯在 100 年前就总结了人类认识客观世界的经验，明确了过程的集合体或者“系统”这个概念，但是真正应用这个概念成为具体的一项工程技术，如我们叫的系统工程，这要等待着：第一，要有一套数学的方法来描述处理那个系统；第二，有了理论，还要能够实现，要有计算的工具。这两件事情都是在 50 年代、60 年代或者从运筹学说，40 年代这个时期出现的，用我主张的词来说，那就是，系统工程，它的数学的方法理论是运筹学，要使这些运筹学的方法能够具体地执行，运算，就要有运算的工具，这是电子计算机。这两个东西，都是在 50 年代、60 年代形成的，出现的。当然运筹学要稍早一点，这样才能够使系统作为一项工程技术，真正变成改造客观世界的工程技术。所以，系统工程是工程技术，是实干的。我们这个学校叫机械学院，是实干的。系统工程也是实干的。但是实干要有理论，这一个理论就是运筹学，还要有工具，工具就是电子计算机。从这样来看的话，也跟从马克思主义哲学来分析现代科学技术的观点相吻合的。有那么多科学技术的学科到底怎么组织起来的？是不是并列的？恐怕不是，应该从基础到具体应用。我认为、好像是有这么几个层次，一个大家叫基础科学，还有一个层次，就是工程技术，工程技术是具体改造客观世界的技术。我们这个学院大概都是这类专业。是不是从基础科学一下就迈步到工程技术呢？现在很多同志认为，从现代科学技术来讲不能这样直接迈到，从现在来看，从基础科学到工程技术中间还有一个阶段，就是技术科学。技术科学是直接的工程技术的理论，但是这个理论又是应用基础科学发展而来的。举例讲，基础科学我们都知道，有物理，有化学，照科学院的说法，更全一点，有生物学、地学、天文学。技术科学要把这些基础科学针对工程技术中出现的普遍问题来形成一个方面的理论。我们讲机械，固体力学、振动理论、控制论，恐怕都是技术科学。对我们系统工程来讲、运筹学就是这个中间的技术科学。基础科学我刚才讲的是不全的，因为我刚才说的那几个基础科学给它一个

概括的词，叫自然科学，还有一个基础科学，一大类的基础科学，就是社会科学。我们讲科学技术这个词常常忘掉社会科学，不知道是否这样，我看很多地方是这样。我认为这是不对的，科学技术吗，包括所有的[353]科学，社会科学当然是科学，所以应该说基础科学里面有自然科学、社会科学。再有一点，也许同志们已经注意到了，我刚才说的自然科学里没有提数学这个词。那就是说我有一个看法，数学是自然科学也要用，社会科学也要用的。你就不宜只包括到自然科学里去，应该单独给它划一个块块，叫数学，那就是基础科学有自然科学、社会科学、数学。这是基础理论。然后到中间，那就是技术科学。跟我们系统工程直接有关的技术科学就是运筹学。然后到具体实干，改造客观世界，这一套技术那就是系统工程。这样的一个看法，请同志们考虑考虑对不对？因为这个说法大概有点新鲜吧！对不对？因为我们要把概念搞清楚才好发展。所谓用马克思主义哲学来指导我们的工作，就是用马克思主义哲学来指导我们的思维，然后我们才能够把稳方向。刚才讲的，我也不敢说是对，大家来研究。这是我要想讲的一点。

还有一点我想讲的，就是系统工程这是一个很概括的词，它是指我们运用系统这个概念来改造客观世界。系统有各式各样的系统，都要用系统工程总的这么一个概念，都要用运筹学，用电子计算机。那么因为系统不同，比如有的是工程的系统，有的是经济管理的系统，企业，甚至是整个社会的经济，那很显然，刚才说的这几类的不同的系统，不能是一门系统工程。就跟我们有土建工程、水利工系、有电力工程、有航空工程，是一样的，不能说就是一门工程。系统工程也是根据不同的系统类别和对象，形成不同的工程技术。所以系统工程是一个总的词。在北京的会上，跟车宏安同志打听你们的系统工程系是什么类型的系统工程，大概你们跟这个学校是有关的，是搞机械行业里的企业系统工程。所以这里概念要搞清楚。有不同的系统工程，系统工程是一个总称，用英文，它后面要加 s，多数。你们这个系统工程是搞企业系统工程，管理生产和工厂组织。这样一个系统工程，你光知道运筹学能不能解决问题呀，恐怕大家会说那不行，还得有其他的知识。这个知识，于光远同志用了一个很好的词，他最近写了一篇稿子，他很谦虚，他不叫写成文章，他叫稿子，我看到这篇稿子，题目叫生产力经济学，就是专门研究生产力发展的经济学。有二大要素，一个是劳动力——人，一个是生产设备。生产力经济学就是研究这个在生产过程中的复杂的关系，他把这个区别于政治经济学。政治经济学是研究生产过程里的人跟人的关系呀，分配问题呀，这些方面。你们这个企业系统工程，这个恐怕就得用生产力经济学，你不研究这个怎么行啊！你光靠运筹学，就那几个数学公式加上计算机一个劲地算，这很显然是不行的。所以各种不同的系统工程，除了它有共性的一些基础，像运筹学，

也要有共性所需要的工具，像电子计算机，光有这两个还不够，它还要有它自己的系统工程所联系到的那个对象，研究那个对象的学问。刚才举的那个例子就是我们这个系搞的，这个专业的方面。那其他的系统工程的类别还很多了，比如说，搞大型工程的还要[354]知道工程设计，他不懂得那个，他怎么能搞大型工程的系统工程。所以呢，这样一个看法，就是系统工程不是一个，而是多种工程技术，但有一些共性的东西，都需要的理论基础，如运筹学，都需要的工具，像电子计算机，除此之外，还要联系到它专门工作的对象，研究这个对象的规律的学问。所以呢，我们不能够泛泛的称系统工程的理论叫一个什么学，这个有困难。因为你要这么称，你也可以称运筹学是系统工程的总的理论，它又不怎么总的起来，因为它只有一部分，不是全部的理论。各种不同的系统工程需要有不同的学科。这里，要附带的说清楚一个问题，就是运筹学作为系统工程的普遍的理论，有人讲，我忘了一件事情，就是控制论，也是跟运筹学一样的是系统工程的普遍理论。我对于这样的一个说法是有点谨慎，因为从系统工程一直到现在的实际发展来看，控制论直接作为系统工程的一个理论基础，好像不大合适。因为控制论，它是把这个系统变成完全自动化的一个系统来考虑的。而在系统工程的实践当中，它总离不开人的因素。可以概念地说，我把人也包括在系统里面了，但是具体你怎么办？人太复杂了，现在还没有一个通用的理论可以预计人的行为。说一件大家比较容易体会的事，将来你们搞企业系统工程，包括有一个动员群众，你那个动员群众的环节，怎么纳入那个控制论的理论中去，我看没有办法，至少现在的控制论还没有办法处理这个问题，是不是？这也是我们社会制度的特点，我们有这一条。大概企业管理，企业系统工程，组织管理这里头，发现我这个生产里头的短线，这个短线怎么解决呢，那就要动员群众出谋献策，这个群众的出谋献策，这里面的运动规律，恐怕还不能写成数学方程式，放到控制论里面去。我们不排除有朝一日控制论发展到这些我说的统统变成理论性的东西，预见性的东西，这个我们不能说将来也不可能，但是现在不可能。因此，现在只能说，比较慎重的一种说法，就是控制论跟系统工程有一定的关系，它的一些概念可以而且必须在系统工程当中使用，但是控制论不能直接作为系统工程的一个理论基础，系统工程的理论基础还是运筹学。我这么说，可能引起一些看法，就是现在从事于系统工程工作的院校的同志，有一部分是原来搞自动控制和控制论的教师，我这么一说，是不是把他们排除在外面。我赶快声明，我没有这个意思。我还是实事求是地就事实来讲。至于原来搞自动控制、搞控制论的同志现在参加搞系统工程，我们非常欢迎！没有排斥他们，而且要说，他们很锐敏地察觉到了现在科学技术的发展有系统工程这么一个方面，而且身体力行地参加到这个队伍中来，也可以说他们

超出了原来的自动控制这个领域了，到了更大的一个领域，到系统工程，这个应该欢迎，绝没有想把他们挤出去的思想在里头。我的想法就是这么一些了，不一定对。我们在座的同志都是专门搞这方面的工作的，我也请你们考虑考虑这些问题，因为我觉得这些问题，涉及到系统工程发展的方向，根本的概念。我这些说法、肯定有不妥当的地方，也许还有完全错误的地[355]方，跟大家一起来研究，目的设有别的，就是想，系统工程这么一个重要的领域，国家领导同志那么重视它，我们一定要把它搞好。因为我们搞得晚了，落后了，要学外国的东西，要学外国的先进经验，这是明确的；与此同时，我们要认真地研究，特别是在理论、概念、方向、工作的途径，这些方面我们要慎重研究，要注意到我们社会主义制度的不同，要用指导一切科学技术发展的马克思主义的哲学这样一门学问、理论，来指导我们系统工程的研究和工作。系统工程是工程技术，那就是说跟其他工程技术一样，是直接实践的、不能够脱离实践。要坚定地树立这样的一个概念，就是实践是检验真理的唯一标准。你老是不实践，你怎么检验你这个真理标准？理论只能从实践中来，然后进一步指导实践，为实践服务。所以系统工程是实践的科学技术，这一点也是很重要的。当然为了实践，为了建立这么一门改造客观世界的重要的工程技术，我们要敢于创造新的理论。

我在北京的会上跟车宏安同志交谈的时候，我给他鼓劲，他说得很谦虚了，说是你们这个系只有 50 个教师。你可够多的了。我记得从前我在美国建立火箭技术，也算个专业吧，我开始搞那个专业时才 4 个人，包括一个秘书，做教学工作的只有 3 个人。我只有 4 个人，你是 50 个人，你比我 10 倍还要多！当然，那个时候 4 个人搞起，现在，就以我们国家从事火箭技术教学的人来讲，远远超过不知道多少倍，恐怕千倍都有了。所以一切事物只要它的方向是对的，是社会的需要，那你就放开胆子干。听说你们开始招了系统工程专业的一年级学生，我表示钦佩，这个精神好。放开胆子干，不要顾虑这个，顾虑那个。当然，我们在干的当中会犯错误，那有一点不犯错误，那是不可能的，错了就改嘛！没有什么关系。只有勇于实践，才能够更快更好地来完成我们的任务。所以，今天能够参加这个会是感到很高兴的，对机械学院成立系统工程研究所表示祝贺！

本文是 1979 年 11 月 30 日在上海机械学院系统工程研究所（现上海理工大学系统科学与系统工程研究所）成立大会上的讲话。

[356]

什么叫系统工程

钱学森

1978 年 9 月 27 日上海《文汇报》刊登了一篇文章，题目是《组织管理的技术——系统工程》。是由许国志、王寿云同志和我合写的。有人问我们：为什么叫技术、叫工程，而不说组织管理的科学呢？这的确是个重要的问题，因为它涉及到这门学问的基本精神。我们说：系统工程是要解决具体实际问题的，是讲实干的，是要改造客观世界的，而不是只研究研究学问。从科学的广泛涵义来说，当然也可以叫做组织管理的科学，叫系统工程更为确切些。

系统工程是组织管理的技术，那好，有的同志会问：组织管理这件事不就是行政事务那一套，我们国家的各级干部不是天天在做吗，怎么又提出什么新词儿，叫系统工程呢？对！从提这个问题的角度来说，系统工程的道理并不新奇，就是我们日常办事的道理。比如：制造一件产品，生产组织总要服从生产工序，一道道工序安排，前道工序没有完，不能开始下一道工序，而且一道工序需要一定时间去完成。车间生产调度多少年来就是这样安排生产的。但如果我们问生产调度员同志："你有没有把握说你干的已经发挥了车间的最大潜力，达到了最高效率呢？"那恐怕未必有把握吧！而系统工程就可以做到这一点，告诉我们如何安排车间生产以达到最大效益。因此，系统工程的任务是改进我们的组织管理，提高效率，也就是提高组织管理的水平。这么一说，系统工程的重要性就非常明显了，搞系统工程的意义也就非常突出了，因为组织管理水平的提高是我国实现四个现代化中的一件头等大事。

系统工程采取了什么好方法来达到这个目的呢？是科学的方法、是定量计算的方法，所以是数学的方法；也就是 100—200 年来近代科学和现代科学技术的各个领域都在采取的途径，不能满足于定性，要定量。在 1978 年的那篇文章中，我们三个人把系统工程中用的数学方法概括为一门学科，叫运筹学，"运筹帷幄之中，决胜千里之外"嘛！我们的这个作法是把系统工程所用的方法作为一门比工程技术更理论些的技术科学，就是运筹学。这就如水利工程、造船工程等工程技术都要使用流体力学这门技术科学一样。我们这样作是为了澄清到现在国外还存在的混乱，这由于历史原因所出现的名词的混乱。在那儿，系统工程、运筹学、[357] 系统论、系统分析、经营科学、管理科学等名词都混在一起使用，没有建立起科

学体系从理论到应用的明确结构。我们认为这是不能令人满意的。

运筹学的具体内容这里就不详细叙述了。

但是要说明，系统工程的理论基础不能只是一门运筹学，还有其他。那就要看系统工程的具体对象了。例如前面所举的车间生产调度的问题，就是工业系统工程，那当然要懂得生产力组织的经济学，就是人和生产设备的经济学，这门学问于光远同志把它叫生产力经济学。如果系统工程的工作对象是设计和建立一个水利工程或大型兵器装备，那就需要有关的工程技术理论；这门系统工程也就可以叫做工程系统工程。如果系统工程的工作对象是一个公社、一个县的农业生产，那就要知道农业生产，包括农、林、牧、副、渔，以及工业、商业综合经营的学问，也就是“农事学”；那这门系统工程就叫做农业系统工程。如果系统工程的工作对象是整个国家的社会主义经济建设，制订长期计划，那就要知道经济科学的许多知识；这门系统工程可以称为社会系统工程或简称为社会工程。再比如系统工程的工作对象是情报、资料数据库等的所谓信息网，那自然要知道信息技术，这门系统工程就可以叫做信息系统工程。我们还可以举更多的例子，但从这儿看出一个道理：系统工程是分门别类的，上面就讲了工业系统工程、工程系统工程、农业系统工程、社会工程和信息系统工程这五门系统工程了，还有更多的应用和更多的系统工程专业。各门系统工程专业都有它各自的理论或技术基础；但另一方面，不论那一门系统工程又共同地以运筹学为他们的数学方法，说明他们处理问题的基本精神是一致的，又有他们的共性。

因为系统工程是要解决实际组织管理问题的，有了理论和数学方法还不够，还要具体计算，得出结果，作为实施的设计方案、蓝图。但这里遇到一个难题，计算工作量太大，如果用人手算，结果还没算出来，事情已经过去了。比如一个国家年度经济计划，一算 8 个月，那还有什么用处？幸而正在系统工程兴起的同时，现代科学技术又创造了电子计算机，大大提高了计算速度。每秒运算次数在早年电子管式的电子计算机就达到 1 万次，后来的晶体管式的达到 10 万次，现在用了集成电路或大规模集成电路，以至超大规模集成电路，每秒钟能运算的次数达到百万次、千万次，以至一亿次。人算 8 个月，电子计算机用不了半小时就算好了，这才使得系统工程的实践能成功。因此我们可以说系统工程离不开电子计算机，或者说是电子计算技术的出现，才有可能把组织管理的水平提高到今天的先进高度。

由于系统工程对提高我国各个方面的组织管理水平密切相关，系统工程受到有关领导部门的重视，积极扶持。教育部对在高等院校中开展系统工程教育抓得很紧，已经在清华大学、天津大学、大连工学院、西安交通大学、华中工学院设

置了[358]系统工程研究所、研究室、中国科学院成立了系统科学研究所作为系统工程的专门研究机构。最近中国科学技术协会已经批准成立我国第一个专业群众学术团体：中国系统工程学会，即将开展全国性的系统工程学术活动，并办会刊。以上情况说明系统工程已在我国生根了，我们可以预期它的茁壮成长。

系统工程的研究和实践涉及到现代科学技术中广泛的领域，包括自然科学、技术科学，也包括社会科学。因此开展系统工程工作需要动员各方面的专家，需要我国的自然科学家和社会科学家携起手来，共同推动这一类新技术的发展，大力提高各项事业的组织管理水平，为实现我国社会主义的四个现代化做出应有的贡献。

原载《科学家谈系统工程》，科普出版社，1981 年。

略谈系统工程

钱学森

100 年前，恩格斯就指出，从古代朴素的辩证唯物主义到近代科学的分析方法，这是一个很大的进步。要深入研究客观世界，就必须把事物分解开，一部分、一部分地去认识它。而且，在认识过程中，还得把各分系统、各组成部分间的相互关系暂时撇开，这样才能看清楚问题。这就是 18 世纪以来近代科学所用的分析的方法，在哲学上也叫“还原论”。但是这种分析的方法也有它的缺点，就是客观世界的事物，分析得越来越细，事物间的相互联系就容易被割裂。因此恩格斯又指出：仅仅停留在分析的方法上，是不够的，应该把客观世界看作一个统一的、在相互关联中变化的集合体。用现代的名词就是“系统”。

但是，在这个问题上，科学技术的发展落后于马克思主义哲学的发展，科学技术人员从自己的实践中认识到系统的重要性，是 20 世纪 30 年代以后的事情。

其中有两个方面的发展。一方面是社会活动的需要，尤其是战争的需要提出来的。第二次世界大战中，由于现代战争高度的复杂性，从 19 世纪初建立起来的军事参谋学不够用了，从而组织了各方面的科技人员研究怎样用现代科学来指挥战争。当时，叫“运用研究”，后来就发展成我们现在的“军事系统工程”。第二次世界大战以后，资本主义国家的一些大企业，认为由运用研究发展起来的方法可以用到企业的组织管理上，以提高企业的经济效率。国外把它叫作“管理科学”。

我和许国志、王寿云一起把所有为了改造客观世界的从系统的角度来设计、建立、运转复杂系统的工程实践，都叫作系统工程。系统工程所特有的理论方法，则叫“运筹学”，它包括线性规划、非线性规划、排队论、博弈论、决策论等。在有些复杂的问题中，还要用到控制论。

1979 年，我提出这么一个问题，就是从近代科学技术的结构上来看，我们现在还只有两个台阶。一个是直接改造客观世界的工程技术、应用技术。我还造了一个台阶，就是直接为工程技术服务的这些带共性的理论，在现代科学技术体系里头，我们管它叫“技术科学”。但是，从整个科学技术来看，这上面还有一个台阶，就是基础科学。最后，基础科学还得跟马克思主义哲学挂上钩。我们现在的理论是很不完全的。要完全，就是要在现代科学技术的框架中建立系统科学这个[360]部门。

如何建立？可以看自然科学这个部门。它有基础科学、技术科学，还有直接应用自然科学来改造客观世界的，如工程技术。现代科学技术体系里面的另外一个大的部门——社会科学，它也有基础科学、技术科学和直接用来改造客观世界的许多社会科学的应用技术。这样安排，数学就似乎要独立出来成为一个部门——数学科学。它也有基础科学、技术科学和应用技术三个组成部分，或三个台阶。由此看来，系统科学就有缺点，就是缺少基础科学，以及还没有解决如何从基础科学到马克思主义哲学这个问题。

为了解决这个问题就要提起第二个方面的发展，自然科学方面的发展。30 年代末，奥地利生物学家贝塔朗菲指出，现代生物学已经进入分子生物学的水平，但生物作为一个整体，我们仍然对它一无所知。他特别提出，生物跟非生物不一样，非生物是越来越趋于杂乱无章，但生命现象却相反，越来越趋于有序；而且生命一旦停止了以后，这种有序性也就破坏了。所以贝塔朗菲又提出，生命现象是有组织、有相互关联的，是有序的、有目的的。这个有序性、目的性就很难理解。因为从无机世界来看，总是越来越乱，越来越无序。热力学第二定律说，跟环境没有能量交换、没有物质交换的体系，即所谓的封闭体系，它的熵只能增加，不能减少。熵的增加就是代表无序性的增加。于是，生命现象似乎是跟热力学第二定律相违反的。所以贝塔朗菲这些人一提出这个问题，它就变成没法解释的难题了。

这时，著名的比利时科学家普利高津指出，热力学第二定律讲的是平衡态，但是实际上出现的事物，生命也好，其他系统也好，总是非平衡态的。普利高津先研究稍微偏离一点平衡态的热力学，到了 40 年代，这方面的研究就逐步完整了，对于非均匀物质的各种传递、输运现象能够作出较好的解释。在研究过程中，比利时学派逐步认识到，任何一个生物，人也在内，总是跟环境密切联系着的。比如，人有呼吸，吸进新鲜空气，吐出的气里就有二氧化碳。它不是封闭系统。比利时学派把它叫作“开放系统”。那么开放系统内熵的减小是怎么回事呢？比利时学派说，系统内部不是没有产生熵，但它把熵向周围输送出去了，周围的熵是大大地增加了，生物的熵却减少了。这一下就把生命现象跟热力学第二定律的所谓矛盾解决了。40 年代以后，比利时学派又慢慢地把非平衡态的热力学推广到远离平衡态的热力学。他们把远离平衡态的、稳定的、有序的这种物质结构，叫作“耗散结构”。说生命现象就是耗散结构。他们还发现，有许多化学作用中，也出现这种稳定的耗散结构。例如，有些化学现象里头，出现很规则的振荡，简单地从经典热力学上好像解释不通，这就是远离平衡态的耗散结构。这个发展开了一个窗口，给我们很大启发。因此，虽则热力学、统计物理方面的专家可能会觉得比利

时学派的这套东西在理论上不够严谨，但它在生物学界中是很受欢迎的，解释了很多[361]现象。

比利时学派把自己的工作限制在熵、温度这些热力学的概念上，恐怕是有更深刻的道理。贝塔朗菲强调要有整体观、系统观，指出系统有四个特性：组织性、相互关系性、有序性、目的性，这个想法是对的，但说得不够清楚。比利时学派似乎比他前进了一步。但又碰到了热力学的一些不好理解的东西：熵、熵流等等。

就在这个时刻，西德科学家哈肯提出来一门学问，“synergetics”，叫“协合学”，或“协同学”。哈肯把比利时学派提出来的问题讲清楚了。哈肯把现代科学技术的许多成就，如集合论、突变论、铁磁理论，超导理论、激光，等等都用上了。哈肯的理论认为，所有这些难以解释的东西，都出现于非常复杂的系统中。这种复杂的系统里有亿万个组成部分，而且系统间的相互作用一定有几个环节是非线性的。哈肯把这个复杂的系统接受下来，指出系统的每一个自由度都可以写出一个方程式，在方程的左边，是自由度参量的时间导数，右面是自由度参量和时间的一个非线性函数。有多少个自由度就有多少个方程。理论虽然很复杂，但概念上是很清楚的。我们给每个自由度一个坐标轴，所有的自由度参量就形成一个维数很大的“相空间”。相空间里面的一个点，就是系统的瞬间状态。哈肯发现，这些自由度里头如果有一个或几个是不稳定的，那么不稳定的自由度就要把稳定的自由度拖着走，一直拖到相空间的某一点，这个点是这个系统的一个稳定状态。有时稳定的状态不是固定的，而是有振荡，如果是振荡的话，在相空间里头就有一个圈，它老在这个圈里转。点和圈就是这个系统的有序状态，也就是这个复杂系统的目标。当然，围绕这些稳定状态，还有一些统计涨落，但这只是使这些点或圈有些模糊，而无碍于点跟圈的存在和有序性、目的性。

哈肯把他的理论应用到许多方面。而且发现有序状态的出现不一定非得是开放系统，封闭系统、热平衡的状态有时候也可以出现有序状态。他用铁磁现象为例子，铁磁物体在达到居里点温度，磁性一下子就出来了。日常事物中也有这种现象。液体到固体也增加了它们的有序性。哈肯把封闭系统的这类现象叫作静态的现象，开放系统的则叫动态现象。激光器就是动态现象的例子。大家都知道要给激光器加一个泵激能量，当达到一定的阈值，一下子激光就变成相干光了。原来乱的、非相干的变成相干的，这就是有序性了。

哈肯的理论解决了重要问题。因为第一，他给比利时学派的理论打下了坚实的微观基础。第二，它指出并非只有开放系统才会走向有序。这样就把我们从热力学第二定律的紧箍咒中给解放出来了。

还有一个西德的科学家弗洛利希，哈肯在激光器方面的研究启发了他。他用

毫米波去照细胞，当毫米波调到一个很窄的范围时，被照的酵母菌或大肠杆菌的繁殖速度一下子高了好几倍。就是说，在生命现象里头也出现了类似激光的[362]现象。

还有一项非常引人注目的研究工作是又一位西德科学家艾肯的所谓“高阶环”理论。艾肯把生命起源、生物进化的达尔文学说，在分子生物学的水平上，通过巨系统高阶环理论，数学化了，提出了一个言之成理的自组织系统模型，并从这个模型推导出生物的一些生殖遗传、变异、进化的性状。这就使贝塔朗菲 40 多年前提出的问题有了解决的明确途径。

所有以上讲的这些工作都是研究多自由度巨系统的，它们大大地开拓了我们的眼界，展示了系统理论的深度和广度。半个世纪以来，一方面有从工程技术实践中提炼出来的技术科学、运筹学和控制论，还有信息论，而另一方面又有来自自然科学研究的非平衡态热力学和耗散结构理论、协合学、微波激励细胞分裂，以及生命现象的高阶环理论，如果把所有这些工作融会贯通，综合发展，我想建立起一门系统科学的基础科学——一切系统的一般理论、“系统学”，将不会是太远的事了。这将使得系统科学这个新的现代科学技术大部门完全成立起来，而它通向马克思主义哲学的桥梁就是近 100 年前启示的、现代科学技术大大丰富了的“系统观”。

毫无疑义，系统科学这个部门将极大地加强人们直接改造客观世界的能力，在中国为实现社会主义现代化作出贡献，而且系统科学也会促进其他现代科学技术部门的发展。所有这些又都最终会发展和深化人类知识的最高概括——马克思主义哲学。

原载《中国百科年鉴》，中国大百科全书出版社，1981 年。

系统思想、系统科学和系统论

钱学森

咱们这个会的名称，看会标共 27 个字之多，所以我想把这个会的名字简化一下，是不是就叫四校三论讨论会？因为好像在座的同志喜欢用“三论”这个名称，控制论、信息论、系统论。我则不然，我想三还是多了一些，简化一下就叫系统论。实在说，只有一论，即系统论。今天我就是来宣传这个观点，算是百家之中的一家。当然，我是希望大家能同意我的观点，所以今天我讲的题目就叫“系统思想、系统科学和系统论”。

首先我想说明的，就是我能够讲这些东西绝不是我一个人努力的结果，我要讲的这些观点差不多都是跟今天在座的许国志同志讨论过的。和我讨论的还有国防科委的王寿云同志，还有从前跟我共同署名写过文章的，像国防科委情报所的柴本良同志，中国社会科学院的乌家培同志，清华大学自然辩证法教研组科学方法论小组的魏宏森同志、刘元亮同志、寇世琪同志、范德清同志、姚慧华同志、曾晓萱同志在一年多来也和我研讨过多次，其他还有跟我通过信的同志，我自己也数不清有多少，恐怕不下百人，在座的恐怕就有。也就是说，我今天能够讲一些东西，都是这么一个集体共同讨论磋商的，是我接受大家教育的结果。我想强调这一点，因为现代科学技术里面，很难说哪一个人能够独立来作出什么贡献，都是集体的；现代科学技术的研究工作都是社会化的。

一、系统思想的发展

我先讲系统思想。系统思想的由来已久。一个人在实践当中，认识一点客观事物，他总要想把这些事物联系起来看。在古代，人们有天神主宰的观点。老天爷、玉皇大帝，又是什么这个神那个神，也能说明一点观察到的自然现象，这也是系统啊，只不过是神话的系统就是了。当然是不科学的，是想象的。到了后来，觉得这个神、那个神、不好，神灵主宰不好，于是把神灵从系统当中清除出去，这大大地前进一步了。但是，这样一个系统里面还是有很多臆想的东西，或者说是自然哲学式的，自然哲学式的系统。也就是说，事实有的掌握了，有的不掌握。不掌握[364]的部分，空着，联不起来。要把它联系起来怎么样呢？就加一些臆想的东西，这就是自然哲学。在座的不知道有没有中医？我说中医理论就是自然哲

学式的东西。这个理论是很好的，很完整的一个系统。但里面包括了很多想象的联系，实际上是不是那么回事？还需要研究。不是说中医要现代化吗？我看这个现代化就要在这个问题上做工作。中医理论有近两千年的历史，但它还不是科学的。

到了 16 世纪，资产阶级开始出现在历史舞台上。这个时候兴起了近代自然科学。近代自然科学，它是要排除那些臆想的东西，一定要把事情刨根问底搞清楚。从整个的系统来考查，很困难，一口咬不下，所以就把事物分解开，一点一点来啃。这就是把复杂的、整个的系统分解开，分解成一部分一部分；然后研究这一部分。然后可能觉得还太复杂，再分解、再分解，这样一种工作方法是近代科学的工作方法。或者有人说这就是还原论。与此同时，还有机械唯物论，是唯物的，但是跟还原论比较是机械的唯物论。这些词还原论也好，机械唯物论也好，今天我们听起来不太好。因为我们讲究整体观，我们讲究辩证唯物论。但是我也必须说，在近代自然科学兴起的时候，出现这样的近代科学研究方法，还是一个进步。因为不这样办，研究事物就不可能前进。这是进步，不是退步。这一点恩格斯曾经说得很清楚，他高度评价了近代科学兴起以后的这一些科学方法。这大约是三、四百年前的事。

大约到了一百年前，恩格斯说："一个伟大的基本思想，即认为世界不是一成不变的事物的集合体，而是过程的集合体。其中各个似乎稳定的事物以及它们在我们头脑中的思想映象即概念，都处在生成和灭亡的不断变化中。在这种变化中，前进的发展，不管一切表面的偶然性，也不管一切暂时的倒退，终究会给自己开辟出道路"。[1]这是恩格斯在《路德维希•费尔巴哈和德国古典哲学的终结》这篇论著里的一段话。我认为，这就是现代的科学的系统思想，马克思主义哲学的系统思想。这个简单的回顾，包含两千年的历程。正、反、合、原来是有系统思想的，但是不那么科学，是自然哲学式的。到了近代自然科学兴起了，需要科学化了，暂时又不得不搞还原论，搞机械唯物论。最终到了马克思、恩格斯，建立了马克思主义哲学。这个时候又最后综合起来，变成了现代的科学的系统思想。这样来回顾一下系统思想在历史上的发展，实际上也是哲学发展到辩证唯物主义这样一个过程，这对我们考虑问题是有用的。

但是真正照着恩格斯的话去做，也是很不容易的。恩格斯自己就在上面引的那段话的后面接着说："但是，口头上承认这个思想是一回事，把这个思想具体地实际运用于每一个研究领域，又是一回事"。[2]这话说得很好。事实也是这样，恩格斯指明了现代的科学的系统思想。但是人们真正按照这个去做，很长一个时间还没有做到。实际上，真正用现代系统的思想去解决现代的问题，又经过了差不

[365]多半个世纪。是战争的需要促进了科学技术的发展。在第二次世界大战当中，由于现代化战争的需要，出现了operations analysis，运筹分析，后来又叫operations research运筹学。又出了系统分析，system analysis。后来又出了系统工程systems engineering。还有管理科学management ccience，这些词是非常之多的。有些时候用词用得也很怪，联合国科教文组织在奥地利维也纳郊区有一个专门的国际研究所叫IIASA,就是国际应用系统分析研究所。我当时看了发笑，系统分析就是应用的嘛，还有什么“应用的系统分析”？简直胡来！在40年代，50年代，60年代，70年代一直到最近吧，恐怕在国外这种词多极了。简直是一片混乱，爱怎么叫就怎么叫。我看见一个有意思的事。西德是用德文的，德文里公司叫Gesellschaft。但是有一个公司，叫Systems Engineering Gesellschaft，是德文的公司，前面加的Systems Engineering又是英文的，英德合一！乱嘛，也说明是兴旺发达，也就是真正把系统的思想应用在军事上，运用在经济问题上，运用在社会问题上，做了大量的工作。系统思想经过两千多年的演变，最后到一百年前，恩格斯把它明确了，成为真正辩证唯物主义的、科学的、现代系统的思想。然后又经过了半个多世纪，才真正实际上应用来解决具体的问题。但是又出现了词句上的混乱。

二、系统科学概念的形成

（一）系统工程和运筹学

下面我就来讲讲我自己这几年来学习这个问题的经过。老老实实地给同志们汇报我是怎么走过来的。要说到粉碎四人帮之后，在1978年4月份的时候，我收到许国志同志的一封信，它给我很大的启发。他说外国人用词实在是五花八门。就他看，不管怎么说，实际上，是不是可以称为系统工程。就是把用系统思想直接改造客观世界的这些技术，通通称作系统工程。直接为这些工程技术—系统工程服务的一些科学的理论，是不是可以用运筹学这个名字。我当时读了他的这封信就感到很高兴。因为许国志这封信清理了外国人用词的混乱。归纳了一下，两个层次：一层是直接改造客观世界的技术，是工程技术；还有一层是为这个工程技术直接服务的一些理论科学。1978年4月份给我的信。1978年5月5号是马克思生日，我们国防科委开始举办科技讲座。那一天是科技讲座的头一次。军队里老的习惯，头一次要负责同志讲，结果找了朱光亚同志和我两个人讲。那个时候实际上我并没有搞得很清楚，光是看了许国志同志一封信。我的题目就是“系统工程”。没想到，我讲的受到欢迎；当天，在那儿听的就有张爱萍同志。他是国防科委主任，又是总参谋部的副总长，前几年他还是国务院副总理。他听了就说：

“好啊，是应该这样做。”还有现在在海军工作的李耀文政委，那个时候是国防科委[366]政委。他听了也说好。咱们办个系，就搞系统工程。这二位领导支持这个工作。5 月 5 日晚上我就出差到西南去了。头一站跑到成都，省委要我讲讲现代科学技术，杨超同志主持。讲什么呢？我心里想的就是系统工程，就又讲了系统工程。第二次讲得略为系统了一点。后来再一站就跑到昆明去了。云南省委一听说四川省委让我讲过，又让我讲。我在昆明还是讲系统工程。这一次又比前一次稍为好一点了。到了昆明这个时候，基本上就是那个模子。讲的用系统思想直接改造客观世界的技术，这是系统工程。系统工程又有各种门类。为这些系统工程服务的理论科学是运筹学。这个想法大致就形成了。我跑的最后一站是湖南长沙国防科技大学。那时国防科委刚接管国防科技大学正要把国防科技大学调整一下。我就借这个机会，照李耀文同志 5 月 5 日说的，要办一个系，叫做系统工程系，就是这么一个过程。后来我与许国志同志，王寿云同志写了一篇文章，登在 1978 年 9 月 27 日的文汇报上[3]。这就是我学习这个问题的头一个阶段。

但这时，我总觉得不太满意。从自然科学发展来看，自然科学先有基础科学理论，有物理、化学、数学、天文学、生物学，这些都是比较老的。恩格斯所说的基本的自然科学就是指这些基本科学。恩格斯的那个时代还没有提我们说的工程技术，这是很自然的。因为在那个时候，大量的搞工程技术的人并没有学多少科学技术，都是技工学校出身的人。在 100 年前才开始有大学程度的工程技术学校。像美国的麻省理工学院，是大名鼎鼎的。当时恩格斯没有提工程技术，是很自然的。工程技术作为科学技术的一个组成部分，出现在上个世纪末本世纪初，这是用自然科学的基础理论，实际改造客观世界。到了本世纪 20 年代，又出了一个中间的层次，叫做技术科学，直接为工程技术服务，作为它的理论。但比起基础科学来，强调应用性，我们叫应用基础。然后是实际应用，就是工程技术。现在在自然科学里头，这三个台阶是很清楚的。到了系统工程这个领域，我就觉得没有这三个台阶了。许国志、王寿云同志和我写的那篇文章中只有两个台阶，一是直接改造客观世界的系统工程；再一个是它的理论——运筹学。并说到进一步发展也要用到控制论、信息论。我所说的这个控制论，在我脑子里头是很具体的，就是我所写过的那本《工程控制论》那种类型的控制论。我说的信息论也是比较具体的，就是工程师为了设计通讯系统所搞的那些理论，就是香农那样的信息理论。这在我脑子里头跟运筹学都是一样的，都是技术科学。所以只两个台阶，还缺更高的一个台阶。

（二）系统的基础科学——系统学

这样就是两个台阶。比较起自然科学来讲总觉得缺一个台阶。在技术科学上

头还有一个更基础的理论。脑子里觉得应当有，但是是什么呢？又说不出来。1979年11月10日，我在《光明日报》写的那篇文章[4]，实际上是1979年10月份[367]在北京开的系统工程讨论会上我的一个发言。在那里我就提出来，缺一个台阶，也就是更基础的理论，但不知道是什么。那时候随便说了什么“理论运筹学”呀，“理论控制论”呀。老实讲，不知道是什么东西。但是，基本的思想呢，就是说系统的思想要建立起一个完整的科学体系，就是系统科学。这个系统科学里头有三个台阶。一个是直接改造客观世界的，即系统工程。还有中间的一个技术科学的台阶，这个好像比较清楚了，就是运筹学。还可能有控制论、信息论，就是作为技术科学的那个控制论、信息论。当然，根据不同的系统工程对象还要引用一些其他科学，比如工程的系统，那当然还要许多工程的知识，讲经济的系统，还要许多经济的知识。但是，就系统科学本身来讲，两个台阶。还有要建立的一个台阶，即基础理论的那个台阶。提出来了，但不知道怎么弄。所以，1979年11月10日在光明日报的文章我冒叫一声，要建立系统科学。到底怎么建？我也不知道怎么建。那个时候呀，有点苦恼。就是说，话是说出去了，但不知道怎么办？

在这一时刻还要感谢许国志同志。他给我寄来一篇纪念一般系统论的大权威贝塔朗菲的文章[5]，是罗森写的，这个才给我开了窍。大家知道贝塔朗菲是20世纪30年代奥地利生物学家。他不满意这个世纪以来生物学的发展。他说生物学完全走的是还原论的这条路；研究越来越细，一直研究到分子，叫分子生物学。学问是多极了。但是最后说到生命现象到底是怎么回事，好像越来越渺茫。研究得越细，对整体越说不清楚。所以，贝塔朗菲就提出来，是不是要朝另外一个方向看一看，他提出了系统的思想。当时他提出来的还不是一般的系统论，提的是叫理论生物学。这下就给我提了个头。哟！还有个生物学家在那里做了那么多工作。提出来还原论的这条路子不太好，要考虑整个系统。这对我启发很大。于是去找了贝塔朗菲的书，《一般系统论》[6]来看。看了这本书呢？老实讲，又不太满意。这位先生提了一个很好的意见。但是，空空洞洞。他这个一般系统论，什么都可以适用。生物不成问题，社会也能讲，经济也能讲，但他都没讲清楚。他的书里头引出了比利时的一位名家，就是普利高津。一说普利高津，我想起来了我曾在50年代对他发生过兴趣。因为那时，我要搞力学里头的各种输运过程，读过普利高津的所谓非平衡态热力学。贝塔朗菲说系统和普利高津有关系。于是赶快把普利高津的书找来读，才知道普利高津后来对非平衡态热力学又有所发展，从这个稍有一些不平衡的热力学转到远离平衡态的热力学，而且还提出来所谓耗散结构的理论。把书找来看看以后，觉得普利高津的耗散结构，确实比贝塔朗菲的一般系统论进步了一点，总是有点方程式，定量化了。还说出了点道理来，但满意，

又不满意。

为什么呢？这要从往事说起，我记得 50 年前在上海交大学热力学的时候，总觉得不太痛快。老师给你讲，什么温度，什么熵，你不承认也不行。人家都是证明[368]熵不能减小，只能增大。但是，我当时作为一个年轻学生就有点莫测高深。熵到底是什么？说不清楚。我后来当研究生。我原先是学工程（机械工程），当研究生就得学点物理，学物理就要学统计力学（统计物理）。经典热力学是讲宏观的学问，但要知其所以然，就得深入到微观。热力学的微观基础还是分子和原子的运动。你完全可以从千千万万个、亿亿万万个微观世界的分子原子的运动，推导出经典热力学的这些规律。我一学到这儿高兴极了。我从前学的那个热力学的神秘被揭开了。有这一段经验，到了 1980 年初左右，我觉得问题好像是一样的，也就是普利高津是比贝塔朗菲进了一步。但没有进多大，问题还是没有得到解决。所以到这个时候已经到 1979 年年底了，正好在 1980 年年初的时候，我接到一个通知，全国在生物学里搞理论的，特别是关于生物学里的有序化问题研究的，要在北京开一个小型的座谈会。给我发了通知，我就很高兴地去了。觉得应该向生物学家学习，因为生物学家好像有发展。在通知上看，还有几个讨论题目。一个题目是普利高津的理论，这个我还领教过；还提到一个哈肯的理论，我赶快找哈肯的书[7]来看。一看高兴极了！哈肯的工作，哈肯用统计力学的办法，来解决复杂系统的有序化问题。他严格证明，在一定条件下，这个有序化的出现，是不可避免的。而且条件是讲得非常清楚的。用的理论就是统计物理，是很严格的理论。我这一下可高兴极了。这就是说有序化这个过去好像很神秘的现象，它的出现，完全是有理论根据的，而且必然出现。哈肯说，激光也是从无序到有序的转变。他说的这样精确，激光一定要有足够多的分子共同参加才能出现。少一个不出现，够了这个数非出现不可。同志们，科学的理论，说到这样一个清楚的地步，真是科学。我们掌握了这些道理，高兴得很。

带了这个心情，去参加刚才说的小型的讨论会。因为当天下午还有别的事，我要求允许我头一个发言，发完言就走。主持会议的同志允许了，叫我第一个说。我一发言，把我刚才的一套话说了。我也说了贝塔朗菲是有功劳的，但是我不太佩服他。普利高津是大科学家，得了诺贝尔奖金，但是我对他的看法也不太怎么样。而这个哈肯说的，我才觉得是真正叫科学。说完了这一通，旁边的一位同志要说话，我也不认识他是谁。一位主持会的同志给我介绍，说他是北师大的方福康同志，刚从普利高津那里回来得了博士学位的。我心想坏了（大笑）。幸好他说："我完全同意你的观点。实际上，普利高津自己也完全意识到这一点，他已经和哈肯的观点完全一致了。（因为他们很近，一个西德，一个比利时，经常在一起讨

论的)。我想这好了(笑声)。所以，方福康教授所传来的信息，科学这个东西，不能含糊。对就是对，不对就是不对。善就是善，好就是好。好的东西终究要为大家共同认识。我这个姓钱的，远隔万里，也没有见过普利高津教授，也没有见过哈肯，我在这里放炮，我这个炮居然和他是一致的。所以科学毕竟是科学。这样[369]一个经历，对我教育很深，使我有信心说系统科学完全可以搞起来。

这样，再往后到 1980 年 11 月份。经过几个月了，我把前面讲的生物学理论会通知单上第三个人，即艾肯的论文[8]弄来看了一下。艾肯把达尔文的生物进化论，完全放在分子生物学的科学基础上，用系统的观点来解释。那是地地道道的。在那以后，又看了一些东西。如微波激励细胞分裂。那末，这和激光现象中临界值可以引起突变是完全一致的。做这个工作的又是一位西德人，叫佛莱律希[9]后来还有两位苏联科学家，斯摩良斯卡娅，维林斯卡娅二位[10]，做的也是这一类工作。

有这些东西以后，到了 11 月份系统工程学会成立大会，我觉得系统科学完全可以建立起来。系统科学的第一个台阶，是直接联系改造客观世界的，这是系统工程。这是大量的实际工作。它的作用，意义是毫无疑义的。像我们这些人，搞大型工程搞了 20 多年，就是用系统工程的方法来做的。不用系统工程的方法，就没有法子组织那样大的工程。所以实际的应用是毫无疑义的。这种实际应用，还要有科学的理论——运筹学，以及作为技术科学的控制论，信息论。这个台阶也是很明确的。经过这一年的努力，先是从许国志同志送来的一篇论文中得到启发，后来我又向几位同志请教，看书才明确了，这第三个台阶就是系统科学里面的基础理论。这个时候，我才敢把它叫做系统学[11]。这个系统学是完全有条件把它建立起来的。

但这都是讲有序化，讲从无序可以到有序。到了去年年底，今年年初，又给我提出问题来了。碰到一篇东西[12]，一看，有兴趣再看下去，兴趣更大，觉得与系统学很有关系。这是一个什么问题呢？在非线性的系统里头，还有这么一个可能性，就是有序也会变成无序，变成杂乱。这问题是反过来了。这一项工作呢，实际上也做了好多年了。不过我没发现就是啦，孤陋寡闻吧。这原来是从生态学里头搞的工作。发现非线性的差分方程里头有一个参数，这个参数一到接近于临界值的时候，一下子出现了许多紊乱的现象。这样的现象，搞流体力学、气动力学的人是很清楚的。在流体力学、气动力学中有这么一个现象，就是从层流到紊流或湍流。这么个现象，在流体力学里头，这个参数叫雷诺数。简单的讲，假设流体慢慢地流过一个物体，那末，这个流动是有序的；假如流速增加，到了一定数值，稳定的、平稳的流动不可能持续下去。就要发生紊乱的流动，叫紊流，或

者叫湍流。现在做这项工作的人叫费根巴姆[13]，是美国人。在美国原子弹研究所工作。这个人把这方面的工作捏在一起了。提出所谓费根巴姆数。就是有一个邻近紊乱出现以前的一个有普遍意义的常数。这个数是4.66920166……；算得很精的数。与圆周率π有类似的普遍意义的一个数。这是从有序转向紊乱情况时的一个关键数。我一看见这个工作，高兴得很啦，又丰富了我们的认识。从杂乱可以到有序，现在[370]从有序又可以转到紊乱。这对我们系统的设计思想是很关键的问题。现在，我有一个猜想，公之于众，也许是不对的。这个猜想是什么呢？就是如果一个系统出现了从有序变到紊乱的趋势，我有办法治它。怎么治？就是把系统的联系切断几点，那就好了。原系统是按层次来组织的。如果要出现紊乱了，你就截断系统的某些联系，即增加层次，就可以防止紊乱的出现。这是我的猜想，“钱学森猜想”，也可能不对啰（笑声）。这是不是值得研究的问题？

同志们，我在这里引用的构筑系统学的建筑构件都是国外科学家们的工作。难道就没有可用的中国科学家的工作吗？当然有，我不知道罢了。我最近才知道北京大学廖山涛同志的微分动力体系理论[14]是和系统学密切相关的。到了现在，也就是差不多经过四年的时间，我对于系统思想、系统科学的认识，就是这么一个经历。同志们可以听得出来，这不是我一个人的工作。那首先是世界各国人的工作，再有我也得到许多人的启示、帮助，然后我才有可能认识这些。

（三）系统论是系统科学到马克思主义哲学的桥梁

我现在的认识，就是在《哲学研究》今年第三期的那篇文章[15]讲的。系统科学里头包括三个台阶。最高的台阶就是系统学。系统科学总的还要联系马克思主义哲学，因为马克思主义哲学是人类认识的最高的概括。这个从系统科学到马克思主义哲学的桥梁，我把它叫系统论。所以从刚才一大段话里可以看出来，我为什么讲是一论，而不是三论。为什么呢？控制论、信息论是客观存在的。但是，我的认识呢，认为控制论、信息论是技术科学。作为联系马克思主义哲学的桥梁的，是系统论。这也许是我们国家的用词的问题。其实，从前要不译“控制论”而译成“控制学”，这个问题也许就解决了。如电子学一样，叫控制学。结果译成“论”，这就有点弄糊涂了。信息也叫论。其实，是“信息学”。我讲的这个系统论里头，当然要包括信息和控制这两个概念。因为一个大的系统，当然要有控制呀。要控制，就有相互之间的信息传递，那就是信息嘛。所以，系统论作为系统科学到马克思主义哲学的桥梁，当然包括控制和信息这两个概念。我看了一些我们这个会议的论文。其中有两篇，一是大连工学院刘则渊同志和王海山同志的《略论辩证的系统观》。再就是核工业部姜圣阶同志、张顺江同志、熊本和同志和严济民同志的《关于科学方法论基础的研究——辩证唯物主义与系统论、信息论、控

制论》。他们也都阐明“三论”的统一，统一在“系统”。中国社会科学院哲学所查汝强同志在讲 20 世纪自然科学四大成就丰富了辩证自然观的时候[16]，也把“三论”作为一项大成就，而不是分开讲。你会问为什么不起别的名词？怎么起别的名词，这是个系统科学嘛。找到马克思主义哲学的桥梁，当然只好叫系统论啰。看看这个道理到底站得住，站不住？作为有很大成就的科学家维纳和香农，如果他们还活着，面对今天系统科学发展的情况，他们也会同意三归一，叫系统论。因为我们的这个[371]系统论不是贝塔朗菲的“一般系统论”，比一般系统论深刻多了。所以我们统一于一个系统论。可以说，对维纳，对香农，对贝塔朗菲都是公道的。因为这不是一个普通的问题，应该讲清楚。所以，今天我又用这一段时间再跟同志们说明，为什么我这样想的。请同志们考虑考虑。

我认为当务之急是把系统科学搞起来。我老跟很多同志宣传，当务之急是把贝塔朗菲、普利高津、哈肯、艾肯，费根巴姆、廖山涛、以及其他我还没有提到的人的工作收集起来，组织起来，构成系统学。这是当务之急。当然也许在座的同志的兴趣不在此，而在系统论。系统论是系统科学到马克思主义哲学的桥梁，系统论的产生需要概括整个系统科学的成果。第三个台阶，系统学还没有搞起来，就要跨第四步了。稳不稳啊？摔不摔跤子？当然我们现在对于系统科学的认识已经不少了，不能说我们不能够运用这个系统论概念去推动我们的工作，那样就太保守了。我们还是可以用系统论里的思想来推动我们的工作，我下面主要讲这个问题。讲这个问题也是向同志们汇报我怎么想的。

三、运用系统论来建立精神财富的体系

（一）现代科学技术的体系结构

问题从科学学讲起，从现代科学技术的体系讲起。最近我还把它扩大了，包括文学，艺术。文学艺术有一个相应于科学学的，叫文艺学。这两个大部分，现代科学技术和现代文学艺术，都是我们人在实践中认识客观世界的结果，都是我们建设社会主义的精神财富。最后都要概括到马克思主义哲学。这个是什么意思呢？这也是系统，大的系统。我考虑这个大系统，也是用了系统的思想，用了系统论里的一些东西，用了系统科学里的一些东西。这就是说，尽管系统论在今天一下子要把它说清楚还很困难，但是这个题目是要研究的。而且研究这个题目的同时，还有具体的应用。

人通过社会实践，认识客观世界这个体系，才有了现代科学技术。对这个问题，我从前写过一些东西。总的我认为，现代科学技术，不是像我们过去常常说的好像是自然科学、社会科学，而是六个大的部分[15]。就是自然科学，社会科学，

再有原来数学包括在自然科学里头。但是，现在数学在社会科学也要用，再包括在自然科学里就不合适了，应该拿出来，叫数学科学，这就有三个啦。还有三个呢？是我老宣传的，是系统科学。刚才说了半天了，还有思维科学和人体科学。所以六个大部门：自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学、人体科学。这每一个科学技术部门里头，都有三个台阶：一个是直接改造客观世界的学问，工程技术类型的；再一个是为工程技术提供理论的，一般性的学问的，叫技术科学；然[372]后，再高一点，就是基础科学。然后有个最高的台阶，就是通过一个桥梁到马克思主义哲学。这里要说明的是这么一个问题。

在以前，我们的一种习惯看法，好像自然科学跟社会科学不同，研究的对象不一样。自然科学是研究自然界的，社会科学是研究人类社会里面发生的问题的。我现在提出一个新的观点。我为什么这么提？这里首先有一个想法，现代科学技术是一个整体，不是分割的。整体在那里？整体在研究对象是一个客观世界。而我们把它分成六个部门，这不是把整体的客观世界分成六大片。不是这个意思，而是研究整体客观世界。从不同的角度，不同的观点去研究客观世界。这么一个思路，我也是得启发于系统论。整个客观世界是一个整体。这个恩格斯早就讲了，这不是能够分开的。那么你分成六个大的现代科学技术部门，不能切，唯一的办法，只能从不同角度去研究它。自然科学是从什么角度去研究客观世界呢？我在这篇东西里都讲了。我认为自然科学，就像恩格斯在一百年前提出来的《自然辩证法》里面的一个中心思想，就是研究物质在时空中的运动，这是第一点；第二点是物质运动的不同层次；第三点是不同层次的物质运动的相互关系。从这么一个角度去研究整个的客观世界。因为自然科学并不是研究自然的东西，现在是研究很多人为的东西了。我还举了一个例子，比如一个自然科学家到一个机械制造厂去，他不会着眼于厂的什么财务，经济管理，经济情况，而是把工厂看作一个材料的流动、切削、加工的场所。研究它的能源消耗，机械磨损等等。研究这些，他从他的角度去研究，这是自然科学家的。再说一件事，因为研究运动，物质的运动，那么这里面就有三个东西是最基本的。就是时间、长度和质量，我们叫量纲。这三个东西是基本的。凡是以这三个东西来研究客观对象的，我看就是自然科学。而且这个概念是非常有用的。我可以举个例子：比方万有引力常数、质量、光速这三个东西有它自己的量纲，但是这三个东西组成不了一个没有量纲的量。还缺一个，缺的这个东西就是黑洞的半径，就是相对于那个质量的黑洞的半径。怎么能这样简捷地得到这个结果？有的同志觉得很吃惊，说我怎么没想到啊，因为你没有从那个角度去看这个问题。所以，什么叫自然科学？自然科学就是从物质运动、物质运动的不同层次、不同层次之间的关系，从这个角度来研究客观世

界的，就叫自然科学。

那么什么是社会科学？社会科学就是研究整个客观世界。但是它的着眼点，它的角度是研究人类社会的发展运动、社会内部的运动，研究客观世界对人类社会发展运动的影响。总而言之，它的着眼点是人类社会。我说它是研究整个客观世界的。也许有的同志说，你的这个话吹得太远了，现在人类社会也不过是地球嘛，你怎么想到整个客观世界去啦！还包括天上的星星，其他东西啦。我说你别着急嘛，在几百年前，我们的祖先还是讲什么叫社会呀，社会是天圆地方，这么一[373]块豆腐干似的小地方叫它社会。现在这个社会已到了全球啦。前几天美国人还发射了航天飞机，苏联也不甘心，还要到天上建立空间站，现在已经到了天上了。将来还要跑得远一点，再跑得远一点就是整个客观世界。所以，社会科学并不是限于哪一面，也是研究整个客观世界。不过它的着眼点是人类社会发展运动，社会的内部运动，研究客观世界对人类社会运动发展的影响。

第三、数学科学。它研究的对象是广泛的，我看这一点是没问题的，恐怕在座的都说数学哪儿不能用哇。问题是数学科学到底是从什么角度去研究整个客观世界这么一个问题。对这个问题，中国科学院计算技术研究所的胡世华同志有文章讲过，他说数学就是从质和量的对立统一，质和量互变的这么一个着眼点，从这么一个角度去研究整个客观世界。我看这是对的。胡世华同志也说了，对这样一个说法，他自己还要继续研究下去，还要补充，还要发展。那好嘛。但是，数学从这么一个角度去研究客观世界，这是明确的。

第四，系统科学。这个不要讲了，刚才已经讲过了。从系统的观点去研究整个客观世界。

再下面一个就是思维科学。那么思维科学是由怎样一个角度去研究整个客观世界呢？我觉得思维科学的目的，就在于要了解人是怎么认识客观世界的。人在实践当中得到的信息，是怎么在大脑中贮存加工、处理，成为人对客观世界的认识。所以首先是因为这样一个目的，思维科学所要研究的对象也是整个客观世界。角度就是从认识客观世界的过程，思维的过程，这样一个角度去研究这门学问。

那么最后一门就是人体科学。人体科学怎么变成研究整个客观世界呢？这就是因为人体科学的中心目的就是认识到人的存在与整个客观世界有千丝万缕的关系，不是单独的一个人存在。这样一个认识，实际上在中国是很古老的。现在就是要吸取中国古老的这些正确的东西来加深我们对于人体科学的研究。所以，人体科学就是从研究人与客观世界相互作用这一点去研究整个客观世界，包括人在内。

所有这些，就是最近我对于现代科学技术体系的一个认识，这是从客观世界

是一个整体得到启示的。所以，六大现代科学技术部门都是研究整个客观世界的，不过是从不同观点、角度去研究。

剩下来一个问题，就是从这六大部门还要概括到马克思主义哲学，这就需要通过桥梁。这个桥梁有系统论，是系统科学的。其他几个好说，比如自然科学到马克思主义哲学的桥梁就是自然辩证法。我这个说法也许就是狭义自然辩证法，我是主张狭义的。因为具体一点，要不没边没沿的；都是自然辩证法。最近看到航空工业部诸声鹤同志写的一篇讲自然辩证法的性质和任务的文章[17]，感到他把[374]为什么应该是狭义的道理讲得比较清楚了。社会科学到马克思主义哲学的桥梁就是历史唯物主义。数学科学呢，这个名字是山西大学一个同志起的，叫做数学学。我说也可以吧，叫数学学。就是把数学科学最概括的质跟量辩证统一等等，这些东西概括起来，就叫数学学。思维科学，到马克思主义哲学的桥梁，当然是认识论。那么人体科学呢？我认为整个的要害就在于人跟客观世界的统一这一点上，我给它起了个名字叫人天观。有一点古典的味道，实际上也很现代化，这个人天观在国外的一些宇宙学的科学家里面已经用了，还有一个英文的词叫anthropic，principle，我们有的同志给它翻作是什么“人择原理”，我说是不是叫“人天观”，或者“观”不好叫人天论。总而言之，就是人和客观世界的统一这么一个论点上去考虑人。

以上我是用了我对于系统的认识，对于系统科学的认识，对于系统论的认识，来组成了这么一个现代科学技术结构。六大部门，横的是三个大层次，最后第四个层次到马克思主义哲学。

（二）文学艺术的体系结构

还有一个大的范围，就是文艺，文学艺术。我说文学艺术也可以分六大部门[18]。一个大部门就是小说，杂文这一类，这是以文字的陈述为表达手段的，长篇、中篇，短篇、报告文学、章回小说、杂文什么都在内。第二部门是诗词、歌赋，也可以包括群众性创造的顺口溜，还有我们同志爱哼哼的不太文雅的打油诗，都可以。这些陈述的东西比较少，是用传神的办法来表达的。第三个大部门叫做建筑艺术，或者叫建筑园林[19]。我看这一点我们国家是了不起的。我认为这个部门里头，建筑园林，小的可以是盆景，就这么大，这是最小的吧。再大一点，苏州人有叫苏州窗景的，窗子外面布置的景色这个就是大一点，有几米大，再大一点的层次就是庭院的园林了。苏州的拙政园、留园啦，这个大概是几十米到几百米。再上一个层次大一点就像北京北海、颐和园啦，有几公里啦。再上第五个层次，更大一点，风景区、太湖，黄山，那恐怕是几十公里。还有更大一点，有没有，也许还有。将来我们国家还要搞更大一点的风景游览区。美国人叫做国家公园，

很大一块地方。所以建筑园林在我们国家最丰富。可能有六个大层次。要是盆景，你就坐那儿看，神游；要是个窗景，你就得迈迈步了，移步看一看；要是大的游览区，还得坐汽车。所以这第三个部分就是建筑园林。第四个大部分呢？就是书画造型艺术。这个在我们国家也有小有大。小的可以在一颗米上画，大的像四川乐山大佛，这也是非常丰富。第五个部门是音乐。第六个部门是综合艺术。就是戏曲、戏剧、电影、舞蹈。中国有京剧、沪剧、越剧、相声、说唱、电影、电视，当然归到这个部门里头了。

所以文学艺术，我也大胆地归了归类，也有六个大部门。有没有台阶，反正我[375]还是那套系统办法。六大部门分了还有没有台阶？有！毛主席在延安文艺座谈会上的讲话里面就讲了，乐曲中有群众性的叫《下里巴人》，高级的叫《阳春白雪》，这两个早就有区别的。《下里巴人》是大家都懂得的群众性歌曲。《阳春白雪》是高级的，能够唱的人就比较少了。所以，台阶是自古就分的。我想无论是哪个部门都有这样的台阶。群众创造的，就是最接近群众的，这是普及类型的，是普及艺术的一个基础。然后从这里提炼可以到一个更高的台阶。那么现在我也是老实地讲，到底有几个台阶？咱们大家研究，我还说不清楚。我认为反正不止两个台阶，不能光说是一个低台阶、一个高台阶就完了。

在这儿我提一个观点，认为文学艺术里面这个高的台阶，或者说是最高的台阶，是表达哲理的，是陈述世界观的。这样的文学艺术，举简单的例子，诗词里面就有嘛！我们唐代的大诗人李白到他最后这一年有一首长诗，叫《下途归石门旧居》。这首长诗实际上是讲哲理的，讲他的世界观，因为里面有这样的句子："如今了然识所在"，这个意思就是想他的一辈子，在那样一个社会里头，李白有他的社会位置，他从前没有识破，现在识破了。这个是人一辈子认识的最后总结。所以那首长诗最后一句是："向暮春风杨柳丝"，以此来寄托他的感情，所以它是一种哲理。我国宋朝女诗人李清照大家都知道，她写的一首诗叫"夏日绝句"，这首诗总共就四句："生当作人杰，死亦为鬼雄，至今思项羽，不肯过江东"。在这四句中，有她的人生观，宇宙观。我们的诗词中，这样高级的东西很多。云南昆明大观楼上的长联的下联完全是一种人生观。这联叫"数千年往事注到心头，把酒临虚，叹衮衮英雄谁在。想汉习楼船、唐标铁柱、宋挥玉斧、元跨革囊，伟烈丰功，费尽移山心力。尽朱帘画栋，卷不及暮雨朝云；便断碣残碑，都付与苍烟落照。只赢得几杵疏钟，半江渔火，两行秋雁，一枕清霜。"以上这些不是简单的感情，而是他的人生观，世界观。拿音乐来说，著名音乐家贝多芬的第九交响乐就是反映他个人的世界观，讲他对人类社会的希望。还有他的弦乐四重奏 OP.133，这些作品中所反映的就不是一般的音乐。

所以在文学艺术领域中，我认为有这么一个层次。这个层次是相当高的，是哲理性的，陈述世界观的。所以，这些都可以进行研究。就也是文学艺术，是不是这六个大的部分，而且有不同的层次。最接近群众性的，群众创造的那些东西是一个台阶。然后有更高的一个台阶，在这个台阶上还有一个台阶（也许是最高的一个台阶），我认为这是文学艺术里面讲世界观、哲理的。最后它还是要到达马克思主义哲学的，因为文学艺术也是人类的社会实践。那么怎么到马克思主义哲学？大家可以研究。我认为是美的哲学。这里头我是向中国社会科学院哲学研究所美学专家李泽厚同志学习了。他说：美是主观实践与客观实际相互作用后的主客观的统一。这说得很抽象，但意思还是人通过社会实践达到了对于客观世界[376]的认识的最一般的概括的规律。那么文学艺术通往哲学的桥梁是什么呢，就是美的哲学。

所以同志们，我现在把这些东西作个比较。现代科学技术有六大部门，文学艺术（现在我还没概括的很好，还要进一步研究），也是有六个部门，都有一个很明确的桥梁，到马克思主义哲学。这就是整个人类社会实践创造的，也可以叫做精神财富。一方面是现代科学技术，再一方面是文学艺术，它们都要到马克思主义哲学这个最高台阶。当然马克思主义哲学来自人类的社会实践，也必然要用来指导人们的社会实践。列宁说过“圆圈的圆圈”。我看就是这个意思。就是这里面的相互关系，不是说只是上面指导下面，也不是说只是下面往上面。它们是相互来往的关系，但是又是有序的，有结构的来往。我不久以前跟一些搞力学的人讲，力学从它本世纪的发展来看，它不是物理里面那一些基本的力学，那些都定了。而是怎么样用这些物理的，基本的力学原理来解决具体的实际问题，所以是应用力学。应用力学是一门技术科学。但也不要说只有从基础科学到技术科学，从力学的基本原理到应用力学。因为应用力学也有再向基础科学反馈的这个作用。比如说现在，在这些结合部位，化学力学、生物力学、天文力学、地质力学，一方面，基础科学向力学输送东西，力学也向基础科学输送东西，这是反馈的作用，是完全存在的。

在人通过社会实践认识客观世界的规律中，还有一个部门没有包括在前面讲的科学技术和文学艺术这些成就之内，这就是军事科学技术。军事科学技术自有史以来，就是一个非常重要的部门。在当今世界中也还是一个非常重要的部门。在这个部门中，如果按我们以上用的说法分台阶，最接近实际战争活动的是军事技术，即军事工程、军事装备的技术和近几十年发展起来的军事系统工程，这是第一个台阶。第二个台阶是军事科学。从军事科学技术到马克思主义哲学的桥梁是军事哲学。马克思和恩格斯对战争的规律都做过研究工作，并有重大贡献。然

而在世界战争史上，很少有是毛泽东同志那样集军事统帅与理论家于一身的。他把实践和理论结合起来，大大地把军事科学和军事哲学推进了[20]。

我刚才描述的这个体系里面，都有这些反馈的作用。但是，它又有一个结构，不是乱的，而是有序的，即有序化的结构。这样一个思想我认为是正确的。我们是在运用系统科学，运用系统论来研究问题。

（三）马克思主义哲学也有体系结构吗？

再进一步。我想，马克思主义哲学是否也有一个系统的结构？这里作为一个问题提出，请在座的同志指教。我刚才说的这些东西好像已经涉及到这个方面了。因为我所说的那些桥梁：自然辩证法、历史唯物主义、数学学、系统论、认识论、人天论、美的哲学和军事哲学，这八个桥梁实际上就是马克思主义哲学的基[377]础。在这八个基础的基石上，存在着一个大厦——辩证唯物主义。这是否也是一个结构，也是一个系统。科学系统论的运用，什么事情都是一个系统，而且有一个结构。而这个结构之中存在着相互作用。我这样说，也可能有人反对。他们会说："马克思、恩格斯，列宁都没有这么分，你为什么要这样分呀？"他们会说"马克思的辩证唯物主义和历史唯物主义，还有自然辩证法，这些都是并列的。你怎么说还有一个基础，并在这基础之上还有个大厦？"我劝这些同志：不要老守着一百年前的东西，事物总是发展的嘛。我们现在要比前人作得更好一点，这难道不应该吗？而且我们这么做，是符合系统论的。

我在结束我的发言时，想提出一个要求，让我们大家共同来遵守。治学要力求严谨，言之有物，切忌空话连篇。现在有些苏联人写文章，也有些东欧国家的人写文章，实在太空了。有一好心的同志给我寄来翻译保加利亚某人的一本书，《科学技术社会学》，后来我给他写了回信说："感谢你，你是好心，但看完这本书我得益甚少。这本书里好像尽是噪音，信息很少！这条路我们不要去走。我们还是扎扎实实，是什么就是什么，真正研究一个问题，搞清楚它。"

同志们，我刚才讲的东西，都是我在同志们的帮助下，这四年来学习的一些结果。我如实向同志们汇报，请批评指正！

本文是 1982 年 7 月 10 日在北京系统论、信息论、控制论中的科学方法与哲学问题学术讨论会上的报告。根据录音整理，报告人删补并加注释。原载《系统理论中的科学方法与哲学问题》，清华大学出版社，1984 年。

参考文献

[1] 恩格斯：《路德维希•费尔巴哈和德国古典哲学的终结》，《马克思恩格斯选集》，第四卷，239 页。

[2] 同上，240 页。
[3] 钱学森、许国志、王寿云:《组织管理的技术——系统工程》,《文汇报》1978 年 9 月 27 日，第一版。
[4] 钱学森:《大力发展系统工程，尽早建立系统科学的体系》,《光明日报》1979 年 11 月 10 日，第二版。
[5] Rosen，R: Int，J，General Systems，V01. 5（1979），P. 173.
[6] VonBertalanffy：L，“General，SystemTheory”，G.Bra Ziller（1968）.
[7] Haken，H：“Synergetics，anlntroduchon”，Spinger（1977）.
[8] Eigen，M；Schuster，P5 Naturwissenschaften，V01. 64（1977）P. 541；V01. 65（1978），P. 7；V01. 65（1978），P341.
[9] Grundler，W，Keilniann，F、Fr6hlieh，H，Phys Lelters，V01. 62A（1977），P. 463；[378]XZ，NaturfrschVol，33c（1978）P. 15.
[10]Smolyanskaya，A.Z：Vilenskaya，R.L. Soviet Phys Uspckhi，V01. 16（1974），P. 571.
[11]钱学森:《再谈系统科学的体系》,《系统工程理论与实践》，1981 年 1 期，2 页。
[12]May，R.M：Nature，V01. 261（1976），P. 459.
[13]Feigenbaum，M，J，Los Alomos Science，（Summer1980），R 4。
[14]廖山涛:《中国科学》1973 年 1 期，1 页;《数学的实践与认识》1973 年 1 期 28 页;《数学学报》第十九卷（1976），203 页；二十二卷（1979），316 页；二十三卷（1880），411 页：《数学年刊》一卷（1980），9 页。
[15]钱学森:《现代科学的结构——再谈科学技术体系学》,《哲学研究》1982 年 3 期，1 页。
[16]查汝强:《二十世纪自然科学四大成就丰富了辩证自然观》,《中国社会科学》1982 年 4 期 9 页。
[17]诸声鹤:《试论自然辩证法的性质和任务》，中共中央党校一九八二年自然辩证法班论文。
[18]钱学森:《我看文艺学》,《艺术世界》，1982 年第 5 期。
[19]钱学森;《再谈园林学》,《园林与花卉》，1983 年第 1 期。
[20]李际均;《毛泽东军事思想的特点和历史地位》,《红旗》1982 年第 14 期，11 页。
[379]

关肇直同志纪念全上的讲话

钱学森

同志们：

关肇直同志是我很尊敬的一位科学家，但是我对他的情况了解很少。在今天这个纪念会上，才听到卢嘉锡同志、苏步青同志、严济慈同志讲了关肇直同志一生的情况，更激起了我对关肇直同志的敬意。我一定要在今后的工作中更好地学习关肇直同志的优秀品德，做好工作。

1955 年秋，我经过五年的禁闭，终于从美国回到祖国，来到了北京中关村，这时我才第一次遇到了关肇直同志。后来除了在一些会议中见到外，我和关肇直同志接触并不是很多的。在 60 年代初，关肇直同志认为应用数学要为国防建设服务，从这样一个目的出发，当时他在数学所成立了一个控制理论研究室，同原五院的同志一起，研究国防尖端技术中的控制理论。与他合作的，有后来也被请到数学所兼职的宋健同志。他们俩人一起开展了把工程控制论应用到国防尖端工程技术上的工作，这一项工作是卓有成效的。他们的工作结果已经应用到我们的国防尖端技术设计工作中。这里的部分成果，在最近获得国家自然科学二等奖，其题目是《飞行器弹性控制理论的研究》。我必须说，这一项工作仅从题目的字面上好像看不出它全部的作用。实际上，它现在已经是导弹运载火箭所必不可少的一个设计理论。当然这个研究组还有很多其他方面的工作，例如还组织写了几本书。我虽然在早年学习了一点工程控制论，但是回到祖国以后，就未能再做这方面的工作。工程控制论的一些新的发展，像能控性、能观测性的概念，还是从他组织写的书中学到的。这些概念在 50 年代还没有，这是后来发展的。

粉碎“四人帮”后，我们大家都很高兴，都在考虑怎么搞好工作，迎接新的局面。我记得就在这个时候，我找了关肇直同志，并且到所里去和做工程控制论工作、控制理论工作的一些同志一起谈过如何进一步发展这方面的工作。后来，1979 年中国科学院的领导决定成立系统科学研究所，当时我们都很高兴，关肇直同志也为开创这方面的工作，做出了很大努力。我想在这个时候，他可能由于过度劳累，所以不幸受到疾病的袭击。从那时起，他一直未能恢复健康。在 1980 年终的时候，中国系统工程学会召开成立大会，他也未能出席。但他是众望所归的，[380]所以当选为中国系统工程学会的第一任理事长。

下面我想讲一点学术问题，也是我们今后开展工作的一点希望。在 1979 年这个时候，我在学术的领域里有一个苦恼，就是这个时候已经很清楚，系统工程在我们社会主义国家各个方面将会有很大用途，它是工程技术的一个很重要方面，这一点是毫无疑义的。为各个方面的系统工程直接服务的一些理论，就是运筹学、控制论、信息论等。但是运筹学、控制论、信息论，从科学的结构来看是为工程技术服务的科学，因此，属于我们所谓技术科学这个台阶。技术科学再上一步，再上一个台阶，总还有基础科学吧！那么运筹学、控制论、信息论，它们的基础科学是什么？它们当然不能说是数、理、化。这个时候我有这么一个苦恼，就是知道总存在一个从系统工程到运筹学、控制论、信息论这么一个技术科学，但在上面还有一个基础科学，它是个什么？不知道！当时在几次发言、几篇文章中，就冒叫一声，什么“理论事理学”、“理论控制论”，其实是虚晃一枪，没有说清楚到底是什么。到了 1980 年，要感谢系统科学研究所的许国志同志，他送我一篇论文的复制本，是外国期刊上的一篇论文，是 R. Rosen 写的。这个给我带来了启发，把我眼界打开了。我原来老是从系统管理技术这个方面在想。R. Rosen 的论文，是纪念另外一个叫 Ludwig von Bertalanffy 的科学家的，而 von Bertalanffy 原来是搞生物的。他因为看到从半个世纪以来，生物科学取得很大进展，但这些进展都是越搞越细，发现了细胞还不行，再钻到细胞核、细胞膜还不行，一直钻到分子。他认为这样越分越细，失去了全貌，反而搞不清楚，因此，von Bertalanffy 提出了一门新的学科，叫理论生物学，又叫一般系统论。我得到的启发是，还有这么多人在考虑系统的问题。那么，从这样一个线索下去，那当然就是著名的比利时的科学家 Prigogine。把 Prigogine 的书也找来看看。当把 von Bertalanffy 的，Prigogine 的书看了后，苦恼解决了点，但还是没有彻底解决。我认为他们的工作不那么科学，不那么太彻底解决问题，说的是很多，但是都是字、话，到底是什么东西？Prigogine 是知名科学家，得过诺贝尔奖金，他搞的是非平衡态热力学。但是我个人对热力学是有一个经历的。从前我在上海交通大学学工程技术，到三年级就学热力学，讲什么熵！最头痛，不知道熵是什么东西，没有物理概念，只有一个定义，很不满意。后来到国外去读研究生了。噢！还有一个统计物理，原来熵不是什么神秘的东西，就是 Boltzmann 常数乘上热力学概率的自然对数，这下就搞清楚了，因为熵跟物质运动、跟物质的微观运动联系起来了。Prigogine 讲的都是宏观热力学的概念。这个时候我就想起来了，在 1980 年春天，中国科协开了第二次全国代表大会。会上，我被分配到跟北京大学王竹溪教授一个组里。大家都知道，王竹溪教授是热力学物理权威。我就请教他：“你看 Prigogine 的工作怎么样？”王竹溪同志对我说，Prigogine 工作很有名，得了奖

金，而且据说对于生物学有很多用处，生物学家很欢[381]迎。我追问他一句："你看怎么样？"他说，我看不那么解决问题，从科学上来看不很彻底，我们看不清是怎么回事。我听了他这几句话，我的苦恼稍微减轻一点。我说对了，我也是这么想的，你也这么想的。

到了这时，再想找一点解决问题的科学理论，看到西德比较新的，在 70 年代初慢慢发展起来的 H. Haken 所做的工作，也就是他所谓"协同学"这个工作。看到这个工作以后，觉得这下解决问题了。因为这真是从微观到宏观，从统计物理来真正解决千千万万个单元的系统所组成的，这个大的非常复杂的系统宏观的概率、宏观的行为。到了 1980 年冬天，接到中国科学院生物物理研究所通知，他们准备在 1981 年初开一个有序化理论的讨论会。通知上讲到 Prigogine 的理论，这个我心里有数，是什么东西。也讲到 Haken 的理论，这个我心里也有数，我觉得非常好。第三个人是 Eigen。Eigen 也是一个西德人，他将达尔文进化论放到一个科学的理论的基础上。我不知道 Eigen 的文章在什么地方，因为生物物理研究所发了通知，我就找到他们的所长贝时璋同志。我去问他，他说，好吧！我马上把引的文献抽出给你。然后我又马上把 Eigen 的东西拿来看了一下，这时我感到确确实实复杂系统的统计理论从微观到宏观，由于生物方面的努力，已经有一个轮廓了。所以这个时候在 1979 年要找的那个东西，就是在技术科学下面的基础科学，已经有那么一个轮廓性的结构了，我这个时候就管这门学问——系统科学里面的基础科学，叫系统学。后来在这个有序化理论会上（在 1981 年初召开的），我就讲了一些我的见解，说 von Bertalanffy 也不太解决问题，Prigogine 也不太解决问题，是 Haken 跟 Eigen 解决的问题。因为那天是我头一个讲，讲完以后，人家才给我介绍坐在旁边的北京师范大学的方福康同志。他是刚从 Prigogine 那里得了博士学位回来的。当时我有点紧张了，这下炮打了他的老师了。方福康同志没有生气。他说："你刚才讲的这些意见，Prigogine 那个学派自己也是那么想的，Prigogine 自己看到从前工作不满意了，也看到 Eigen 工作是前进了一步。因为他们一个在比利时，一个在西德，相距很近，所以就经常一起讨论问题"。方福康同志把这个信息带给了我，我感觉得到了一些安慰，我的想法还没有很错。

这个时候，我就比较明确地觉得系统科学、系统工程要总结到科学，总结到基础科学，这个基础科学就是系统学。而且请许国志同志转告正在医院的关肇直同志。后来许国志同志告诉我，说关肇直同志听了这个意见以后完全同意，而且说他出了院以后，要系统科学研究所专门来抓系统学这个工作，他自己亲自抓。当然，我听了以后觉得从关肇直同志那里得到很大支持，也受到很大鼓舞。这大概是在 1981 年春天的时候。

后来，到去年年底，又碰到一件事情，据说是美国数学界的一个热门。最近我认得的一位美国教授来了以后，我一提这个字，嗨！这个字是个大热门，是什么[382]呢？就是奇异的吸引子（strange attractors）。这个工作总的讲就是有序的东西又可以变成无序，无序变成杂乱。这个我们知道，在流体力学里从层流到湍流的变化，层流是有序的，湍流是无序的。这个工作在美国吸引了数学家。原来这工作，是在生态学里面开始的。有一个在美国核技术研究所里工作的叫 Feigenbaum 的人，因为他做了很多工作，有一个常数叫 Feigenbaum 常数，这个常数在理论里头是一个关键，现在贮存在电子计算机中。说是常数，实际算有很多位，现在算到 4.66920166091029909。这个数字在理论里头是个基础的东西，而且各种从有序到无序的转变都跟这个数字有关。所以这个数字的意义好像圆周率似的。这件事对我来讲是新的事情，就是在有序的系统里面又可以变成无序。这已到了去年年底。

在今年七月份自然科学奖励委员会要评选奖金。在评选工作中，我才认识了北京大学的廖山涛教授。他所做的微分动力体系，得了二等奖。这个工作实际研究的就是复杂系统。后来看看这方面的工作，发现原来数学家在这个方面从 60 年代起已经做了很多的工作，而且应用到具体许多复杂系统的设计当中去了。

关肇直同志生前就有一个愿望，当他康复以后，要亲自在系统科学研究所领导这项建立系统学的工作。我觉得为了纪念关肇直同志，继承他的遗志，把这项工作开展起来，这是一项真正攻关项目，希望能尽早取得进展。

本文是 1982 年 11 月 23 日在关肇直同志纪念会上的讲话。原载《系统工程理论与实践》1986 年第 2 期。

倡导自然科学与社会科学相结合

——薛暮桥和钱学森的对话

不久前，北京召开了一次重要会议。休会的时候，我国两位著名的科学家，也是两位老朋友——经济学界的薛暮桥和自然科学界的钱学森不期而遇。他们坐在一起，进行了一次意味深长的对话：

薛暮桥：怎样更有效地利用自然科学知识为社会科学特别是为经济发展服务，是一个重要的问题。随着社会生产力的发展，各学科之间的相互渗透，显得日益重要。比如，如何把系统工程运用到经济研究中去，并收到有价值的实际效果，就很值得研究。系统工程方面你是内行。

钱学森：对于系统工程如何用于经济，我也是外行。中国社会科学院数量经济与技术经济研究所在搞这个课题。这个所的乌家培同志在60年代初期就开始研究这一问题。西方国家在这方面起步较早，利用数学方法对宏观经济和微观经济进行分析。不久前，航天工业部信息控制研究所，一个原来在自动控制方面很有专长的工程技术单位，受国务院经济体制改革委员会的委托，建立了一个以数学定量分析方法调整粮油价格、调整工资解决财政补贴问题的经济模型。他们这些自然科学技术人员自然不懂经济学，所以，在建立模型的过程中，请了一些经济学家结合一些专题讲授经济学，同时到有关经济部门搜集大量数据资料。这个模型包括几百个参数和几百个方程式，运用一台运算速度大约每秒百万次的电子计算机测算，结果表明：只要农业发展速度达到年增长百分之六，轻工业达到百分之七，重工业达到百分之八，调整物价就会促进经济的发展，增加财政收入，而不会搞乱经济和降低人民的生活水平。一些经济学家认为这个模型有助于制订国民经济宏观决策，是自然科学运用于经济方面的一个比较成功的实例。我提议，在这方面应继续作一些尝试。经济学家根据经验，提供经济课题并说明经济现象的内在联系和发展趋向，自然科学家和系统工程专家帮助经济学家进行定量分析。在这方面，仅靠一方的努力，“孤掌难鸣”。

薛暮桥：运用经济计量学和电子计算机进行经济分析十分必要，但在当前还要首先解决两大难题。一是由于经济活动十分复杂，一项经济决策的制订往往要受政治经济等多方面因素的制约，其中包括一些难以进行定量分析的因素，这就

[384]给建立科学的经济模型带来相当的难度；二是我们现有的经济统计数据有相当一部分不够准确，特别是若干历史时期的数据受政治或其他特殊情况的影响较大，不能十分准确地反映经济发展的规律性。华罗庚同志讲，电子计算机不是测谎机。输入的数据不可靠，输出的数据则不可信，没有实际价值。但这不是说经济方面不能使用计算机，而是说，经济管理部门应加强统计数据的测算工作，使数据尽可能准确、全面，能从中找出规律性联系。当然，数据的规律性与经济发展的稳定性有直接关系。我们要组织一大批经济管理人员学习经济计量学和电子计算机技术，还可以从工科学生中培养一批搞定量分析的经济专家。

钱学森：我国的一些工科大学如清华大学、天津大学、上海交通大学、上海机械学院、华中工学院和西安交通大学等，都有系统工程专业，有一批搞系统工程的人才，可以从经济部门找些课题，进行研究，大胆地将信息论、控制论和系统工程运用于经济方面。经济部门也要主动提供课题。

薛暮桥：“文化大革命”以前，经济理论研究与经济实际工作部门隔离。现在，国务院经济研究中心可以将社会科学研究部门和实际业务部门联系起来，但没有把自然科学和经济科学较好地联系起来。国务院技术经济研究中心在这方面作了不少工作。自然科学与经济科学的结合应进一步引起大家的重视。

钱学森：国务院经济研究中心马宾同志很支持建立经济模型的工作。有关方面领导的支持对于促进这项工作的开展是很重要的。我建议多建立一些实体，专门从事经济系统工程的研究和实践。在这些实体中，一定要有多年从事经济工作的专家和经济理论家参加，他们的实践经验和社会科学理论素养是非常重要的，是思想指导。由于问题的复杂性，数学理论问题也会出现，这就要数学家参加，如北京大学廖山涛教授，他的微分动力体系理论很重要；也有必要请一些搞非平衡态系统理论的专家参加，如北京师范大学方福康教授。当然，中国科学院的系统科学研究所也是攻这方面问题的一个重要集体。总之，要通过经济学家和自然科学家的合作，促使自然科学在经济管理方面发挥重要作用，加速管理现代化的进程。

原载《瞭望》1985年第2期。

[385]

软科学是新兴的科学技术

钱学森

软科学作为一门新兴的科学技术，它要在我国社会主义建设中解决组织、管理和决策这几方面的问题，为领导提出咨询意见。所以，软科学不只是科学，还包含许多技术性工作，实际上是软科学技术。软科学又是社会科学的应用，所以也可以称为社会技术[1]。这就是软科学的性质。同时，发展软科学也是一项技术革命，是软的技术革命，不是现在提得很多的硬的技术革命。软科学的重要性在全国软科学研究工作座谈会上万里同志的讲话[2]和宋健同志的讲话[3]中已经说得很透。中国有句老话叫作“一本万利”，真正的一本万利是软科学。这个观念，我们要树立起来。

一

软科学及其方法、理论，开始是在资本主义国家发展起来的，用于企业内部决策，很有效。但是，当他们把软科学用到国家规模上去时，问题就出来了。1984年一位外国科学家对他们大范围的预测提出批评。他说：“大量的事实已经表明，在现实的经济中产生的结果与专家们所预测的结果相差甚远。这些专家利用了大规模的经济模型、高深的数学、大型计算机等等，尽管如此，预测还是被证明是错了——大大地错了。”[4]原因是什么？我看是社会制度问题。不久前看到美国的一家专门给企业咨询的刊物，它也批评美国的一些预测报告，认为一些所谓预测报告的目的，不是为了真正解决问题，不是真正预测发展对象，而是作为宣传，或是为了表示赞成或者不赞成现在出现的某些建议，或是旨在把投资者引导到错误的方向上去，使得写报告的一方面得到好处；甚至批评总统的经济预测的广播讲话，说那都是为了争取选票[5]。这些话是美国人自己讲的，该有点真情。我看在资本主义国家里，国家规模的经济预测报告是有问题的，不能真正地、老老实实地来做。而在这一点上，我们社会主义国家与他们有根本的区别。就是说，我们社会主义国家搞软科学，有得天独厚的条件。我们的党和国家是从全体人民利益出发来考虑问题的，所以科学的决策和充分发展软科学，在我国家就能真正做到，[386]这就是我们的一个根本优势。我们看到外国书刊上讲软科学的坏话，

不要动摇。

软科学实际上是现代科学技术体系中一个大部门——系统科学的应用，它包括直接改造客观世界的技术——各种系统工程和与系统工程直接有关系的基础理论（或叫应用科学），象运筹学、控制论、信息论等等，这些都在软科学（或叫软科学技术）的范围之内。

在应用科学层次之上是不是还有更基础的理论？我认为软科学有更高的基础理论，那就是系统科学这一科学技术大部门中的基础科学，即系统学。但系统学现在还没有创立起来，我们应当花力量，把这个重要的基础科学认真搞起来。系统学再上升，就是哲学，这系统科学的哲学就是系统论；不过不是我们常常说的“三论”中的“一般系统论”，而是作为马克思主义哲学一部分的系统论。作为一切科学技术最高概括的是马克思主义哲学，马克思主义哲学最核心的部分就是辩证唯物主义。从系统学还要走向马克思主义哲学，走向辩证唯物主义，这一点对我们来说还是非常重要的。研究学问以至做实际工作，应当有正确的立场、观点、方法，马克思主义的理论为我们提供的正是根本的立场、观点、方法。

我以前说过，我们要继续前进，肯定是要“离经”的。我们不能抱住经典著作不放，一句一字地照着做。马克思和恩格斯在 100 年以前没看到今天社会主义的新中国，怎么能一切老靠着经典著作？所以要有发展。要发展就要有新的东西；有新的东西，就离开了经典著作。但是，我觉得，不能“叛道”，我们对马克思主义是不能离开的。我认为，马克思主义还是指导我们一切工作的。这就叫“离经”不“叛道”。我们应当用这样的精神来研究软科学，做软科学的工作。我们现在有一部分人，看外国的东西头晕眼花，说得不好听，就是有点迷洋崇外。应当老老实实地承认，科学技术方面，总的来说，西方某些国家比我们强，我们不要来个阿Q主义，那是很难进步的。但也不能一见外国的东西就躬身下拜，要有分析，实事求是。外国人写的就都那么好？有一本英国人主编的《科学的科学》[6]，实际上是讲科学与社会的相互关系的。本来在这里，必须坚持科学社会主义观点，而书中作者的某些观点未免有些局限性。此书译者在书末《译后记》中把作者的观点吹得那么高，不恰当。我当然不是说外国的东西不要看，要看；不但要看，而且要下功夫钻研。但是，我们要去粗取精。他们也确实有精的东西。一些外国科学家，虽然他们不说自己是马克思主义者，甚至口口声声地反对马列主义，例如诺贝尔奖获得者斯佩雷（R. Sperry）；但是他的关于脑的作用的理论，我看恰恰是辩证唯物主义的。芝加哥大学一位数学教授，讲数学的哲学[7]，他的结论，我看完全合乎马克思主义的辩证唯物主义、历史唯物主义；但是，这位教授一字不提马克思主义。这种现象，我觉得我们要注意：外国的东西要虚心地学习，要吸

取他们好的东西，但是，千万不要盲目地跟着走。[387]

二

软科学是应用科学技术，是技术科学，也就是运筹学、控制论、信息论这一套，再加上各种系统工程，组成软科学的主体部分。如果说还要联系到更高的层次，那就是系统学；最高的层次，当然是马克思主义哲学。这说的是软科学的主干。软科学是应用科学技术的一种，它必然要用各门各类的其他科学技术，所以软科学又是交叉科学。交叉科学每做一项工作，必须把各方面的学问和有用的东西都吸收过来。交叉科学并不是从今天开始，很多技术科学都是交叉科学，所以，发展软科学也要考虑到其他方面的、新的科学的发展，要注意自然科学的新成就和高技术，以及新技术革命。社会科学的新进展对软科学也是十分重要的。软科学又是定性方法与定量方法相结合的，因此又要注意数学科学的新成就。定性要靠专家的意见，但专家意见是实践经验的概括，不见得像 1 十 1＝2、1＋3＝4 那么简单，明确，而是有点模糊的。所以，软科学对作为数学新的发展的模糊数学是要注意的；要发展软科学，应该支持一下模糊数学的工作。这个问题在我们国家是有争论的。要不要发展模糊数学？我是积极的，因为人的思维包括专家的意见，都有模糊的方面，不重视模糊数学的研究怎么行呢？军事科学对软科学也是有用的。军事科学是研究什么的？就是研究对于不能肯定的竞争对方，应该采取什么措施，不只是研究打仗。国际间的贸易等经济活动不是叫“商战”吗？可能也就因为这个缘故，日本的企业家研究我们的孙子兵法，连《三国演义》、《西游记》也分析研究，想从中学一点打“商战”的窍门。另外，思维科学、行为科学，还有人体科学，我们也要研究，因为这就是关于人的学问，而人的学问对软科学是至关重要的。我把现代科学技术分成九个大部门[8]，除软科学的主干——系统科学外，上面已经说了七个，就剩文艺理论了。我看文艺理论必然与我国文化发展的软科学有关。这样，整个现代科学的各个部门都涉及到了。这些广泛的科学成果，在将来培养软科学人才时，都需要有选择地吸收到里面来。软科学人才的知识面不能单一，而是要广的。

上面讲的还只是理论的基础。软科学还需要有许多技术特别是新技术的支持才行，比如电子计算机技术、信息系统和信息库技术、办公室自动化技术等等。现在计算机技术中有硬件、软件，还有一个新发展叫 orsware，即所谓“组织件”，就是用它把各方面的关系联系起来。我们中国也有一个词叫“斡旋”，我们不妨就叫它“斡件”，是比硬件、软件更高层次的东西，是必须重视的。

中央领导同志高瞻远瞩，对我国现代化建设的第一步、第二步、第三步都考

虑到了。我们搞软科学的同志对进入 21 世纪怎么办，现在还考虑得很少，第二步、[388]第三步是什么，我们现在要研究，因为很多事情是有连续性的，现在不研究是要误事的。这方面的工作就是研究中国社会主义建设的未来，也可以称之为马克思主义的未来学。看到未来，现在要做准备的事很多，比如人才问题。我们应当加紧培养软科学的人才。大学里设置软科学系，培养这方面的大学生，是很重要的。

软科学研究的范围很大。就拿社会主义国家的功能来说吧，国家是个大的系统，要使这个系统达到最优的状态，有几个方面的工作要做。我认为社会主义国家有八个方面的功能：第一，是大家都重视的，人们议论最多的，就是社会主义物质财富的生产，所谓经济、技术指的也是这个问题。第二，中央领导同志已经提出来的一个很重要的问题，就是社会主义精神文明的建设，或者叫作社会主义精神财富的创造。第三，为第一方面、第二方面做后勤服务工作的第三产业，包括邮电、交通、医务、商业等。第四是行政，现在要进行政治体制改革，可见这方面的重要性。第五个方面是法制。第六个方面是国际交往，包括外交、外贸，还有各国人民之间团体的交往。第七个方面是国防。第八个方面是环境问题，包括资源的永续利用问题。这八个方面的工作，比我们一般论述软科学研究的范围要广，这就是建设我们中国社会主义的学问。这学问实际上是应用科学，它具体到怎么去管理这个国家，用什么方法预测、管理、组织这些问题，是系统工程，或是软科学。这八个方面都有理论性的学问，这门学问就是社会主义国家学。同时，要有具体的技术，即系统工程或者软技术。这些就是我们软科学要研究的大范围。从这个意义上说，软科学是研究如何建设社会主义国家、管好社会主义国家的科学体系。我国软科学的研究规模还要扩大，目前已有的机构是远远不够的。可以预见，将来我国需要的从事软科学研究的专业工作人员可能达到几百万，这样，前面讲的人才培养问题就显得更加紧迫了。

真正搞好软科学研究，离不开三个要素：第一个要素是信息、情报资料，情况要搞清楚，为了做到定性与定量相结合，专家的意见非常重要，一定要有渠道收集专家的经验与判断，这是第二个要素。第三个要素是要定量，定量就是建立模型，或者说要把斡件搞起来，这联系到数学的理论。为了具备这三个要素——信息、专家、系统工程，就要在搜集资料以后，请专家讨论，提看法和意见；然后，根据专家的意见来建立模型，上电子计算机计算；算的结果，再请专家来评审，把模型修改以后，再上电子计算机计算；算的结果，再请专家评审，再改进，再建模型，反复进行。这个过程，就是理论与实际相结合，定性与定量相结合的过程。这就是软科学工作在我们社会主义国家的工作程序。[389]

三

最后，我想讲点我国科学技术事业的软科学问题，也就是为我国科学技术的领导提供决策咨询的问题。我认为，要做好这项工作，我们要真正下功夫搞马克思主义的科学学，也就是要用马克思主义理论来指导研究科学技术与社会的问题。关于如何研究科学学，以前我建议过[9]，大体包括三部分内容。第一部分是研究科学技术的宏观结构，比如前面讲的现代科学技术的九大部门及其最高概括的马克思主义哲学，这个我叫作科学技术的体系学。第二部分就是科学技术能力学，这个很重要，就是科学技术怎么形成一个力量。第三部分也是很重要的，就是科学技术与我们的社会是怎么个关系，就是政治科学学，研究科学力量的使用与社会发展的关系。要回答好关于科学技术事业这些方面的软科学课题，我们必须研究马克思主义的科学学，要宏观地看问题，不要站在犄角、旮旯里看问题。当然，在这些研究当中，要用马克思主义哲学来指导，因为只有这样，才能站得高、看得远；只有这样，我们才知道大规模的科学技术工作应该怎么组织。

科学技术工作的有效组织是个大问题，以前我把这门学问叫作科研系统工程[10]。目前我们的科研工作大多有个零星、分散的毛病，这是必须纠正的。近来看到我国的科学家已经在动手改变这个状况了；在国家自然科学基金委员会主管的基础科学领域，也出现了“横向联合”：不同部门、不同单位的研究人员为了一项研究任务结合起来，协力攻关。这是大好事。但我希望这样的集体一定要有一个强有力的科学技术“指挥部”，即真正能够调度和指导研究工作的核心组织。不然，联合还是句空话，发挥不了联合的效能。

原载《红旗》1986 年第 17 期。

参考文献

[1] 钱学森：《从社会科学到社会技术》，见《论系统工程》，湖南科学技术出版社 1982 年版第 158 页。
[2] 万里：《决策民主化和科学化是政治体制改革的一个重要课题》，《人民日报》1986 年 8 月 15 日。
[3] 宋健：《在全国软科学研究工作座谈会上的讲话》，《中国科技报》1986 年 7 月 30 日。
[4] Communication of ACM，27 卷，1984 年第 4 期；见任平：《试论模糊数学在社会科学中的应用》，《自然杂志》1986 年第 3 期。
[5] Executive Intelligence Review（EIR），Special Report1985. [390]
[6] M.戈德史密斯、A.L.马凯：《科学的科学——技术时代的社会》，科学出版社 1985 年版，赵红州、蒋国华译。

[7] SaundersMacLane，《数学模型——对数学哲学的一个概述》，《自然杂志）1986 年第 1 期，边善裕译；原文见 TheAmericanMathmaticalMonthly，88 卷，1981 年版第 462—472 页。
[8] 钱学森：《谈行为科学的体系》，《哲学研究》1985 年第 8 期。
[9] 钱学森：《关于建立和发展马克思主义科学学的问题》，《论系统工程》，湖南科学技术出版社 1982 年版第 189 页。
[10]钱学森：《论科学技术研究的组织管理与科研系统工程》，《论系统工程》，湖南科学技术出版社 1982 年版第 99 页。
[391]

软科学是定性与定量相结合的系统科学

钱学森

今天是北京图书馆新馆落成开馆的一系列纪念活动当中的一项，就是我们要举行一共十讲的软科学系列报告，而今天就要请北京师范大学方福康教授讲第一讲《非平衡系统理论在社会中的应用》。这是很有意义的一次纪念活动，因此我也想提一项建议：

北京图书馆从开馆到现在已有75年的历史了，在座的同志可以想一想，对中华民族来说，这75年是怎样的75年？这75年就是我们从灾难深重当中崛起，中间有两次复兴：一次是从五四运动和中国共产党的成立，到新中国的诞生；第二次是我们总结了建国以后的成就和错误，在十一届三中全会制定了中国社会主义初级阶段的建设路线。这是在差不多一年前，中央制订的《社会主义精神文明建设指导方针》的那个决议上讲的，现在是第二次的复兴。所以这75年，在我们中国的历史上是非常重要的，我们应该把这段历史陈迹留下来，用它来教育、激励我们的后代。因此我想，在这75年中，曾经是北京图书馆的一些地方，像中海的居仁堂，北海公园的松坡图书馆，还有文津街的图书馆等，都应该成为北京图书馆的特种书刊的图书馆。把它们保存起来，因为每一个地点都有它的历史意义。这个建议刚才我已经向任继愈馆长讲了，对不对请考虑。

系统科学的结构

现在我讲讲我们系列报告的主题。几年来我们习惯于叫系统科学，也就是从系统的结构入手，根据结构研究系统的功能，也就是结构与功能的关系。用这个观点来看整个世界，作为一门学科叫系统科学。它和其他科学部门一样，也有其结构，有直接改造客观世界的一些工程技术性的学问，在系统科学里，就是各类系统工程。然后是这些直接改造客观世界的技术的一些理论，这是中间层次或者说是应用科学的层次。这在系统科学里是各种系统的理论，如控制的理论，信息传递的理论等等。然后就是到更高度的概括，那就是系统学了。这样一种结构，即从工程技术到应用科学，再到基础科学，是现代科学技术的一个普遍的结构。我[392]还认为，人类的知识或者科学的最高的概括是马克思主义的哲学，这是人

类智慧的结晶。那么从每一个科学的部门到马克思主义的哲学，中间还有一个它本部门学科的概括性的理论。从前我把这个叫做从一个科学部门到马克思主义哲学中间的桥梁。这个桥梁在系统科学就是系统论。我在这里必须再次讲：我不赞成那种所谓“三论”的说法，什么叫“三论”呢？就是控制论、信息论、系统论。我认为这种说法是把事情搞乱了。控制论，信息论是应用科学，不是哲学性质的。哲学性质的只有一个论，就是系统论。这些观点，今天我不多讲了，于景元同志在第二讲《从系统工程到系统学》，会给大家详细讲的。

系统科学为什么重要

我很赞成我们搞的这一系列报告，因为这个问题是非常重要的。为什么呢？对于这个问题，我们要从人类认识客观世界的高度来考虑。大家都知道，现代科学是从文艺复兴以后开始的，它的特点就是不尚空谈，即是从实际出发，而且是为了认识客观世界和解决实际问题的，所以就采取了一个还原论的办法，也就是把事物分解，一层一层分析下去来研究，比如说分子，要了解分子，就要追究到原子。追究到原子还不行，还要往下追。就到了原子核，基本粒子。现在物理学又在搞更下面一个层次的物质结构。这就是一层一层的往下追。生命现象也是这样，研究整个生物太复杂了。所以就研究组成生物的各个系统、器官，然后认为这还太复杂了，再往下追，一直追到现在，生物已经到了分子的水平，叫分子生物学。所以这样一种研究客观世界的方法，其好处是，它是实事求是的。从客观对象的一层一层分解，深入进行研究。但是也有一个毛病，就是这样一层一层分解下去，研究得好像越来越深了，但是对这个事物的整体就忽视了。比如生命现象，现在一直搞到分子生物学了，但是生命整体到底是什么，反而越来越不清楚了。这就暴露出一个问题，就是近代科学走的还原论这条路，有一个毛病，就是设有整体的观点。而系统科学就是从整体的观点来看问题。一反从前那种只靠还原论的办法，越分越细的办法。当然这里也必须说清楚，我们提倡的系统论，不是古代的整体观，古代的整体观有一个局限性，就是那个时候没有工具，没有实验方法来研究更深的层次，因而也就停留在笼统的认识，无法深入下去。而系统科学的观点，可以说是还原论和整体论的辩证统一的观点。这个观点之所以非常重要，是因为不用这样一个观点，可以说任何科学技术都很难向前发展。

这里我举几个例子。第一个例子，就是我们都生活在中国，中国又是世界的中国。那就是说，中国跟世界是有关系的。而中国本身呢？又有 29 个省、自治区和直辖市，将来还有香港、澳门两个特区。还有台湾省，那就是 32 个单位了。就[393]北京市来说，还有好多区，西城区、东城区、海淀区等，还有通县、房山等，

这又有一个结构问题；另一方面，中国所在的这个土地上，往下面看几公里是到岩石层，朝上看十多公里有对流层和平流导；从地下几公里，一直到上面十多公里这个层次，都在影响我们的生活。就人来说，中国现在有十亿七，到 20 世纪末恐怕要超过十二亿了。这么多的人，每个人又不是一样的，是各式各样的，所以，就是研究中国，也是一个很复杂的体系。要有个整体观点。我再说一个例子，近 20 年来，在动力学里发现了所谓混沌现象，说复杂的系统都会产生混沌。而混沌又是物理学里面的一个非常重要的现象，如果不出现混沌现象，那么很可能在更高层次上我们看到的有序的现象也不会产生。所以混沌跟有序是辩证统一的，也就是说低层次的混沌，可能就是高层次有序的一个必要条件。那么这样一个观点绝不是还原论能够发现的，必须是把还原论跟整体论结合起来的系统科学的观点才能够抓着这个要害。也就是说，在动力学里，近十几年、二十年的发展，要用系统科学这个观点来看，就比较清楚了。还可以举一个物理学上的例子：现在物理学的研究，又从基本粒子，深入到更深的层次，这就是所谓的超弦理论，就是说现在发现的这些基本粒子，实际上都是超弦的某一种状态。那就是说整个宇宙就是超弦的复杂的体系，我跟几位搞这个理论的人说，你们搞理论的物理学家，现在就要学习点系统科学，要不然超弦理论就搞不下去了；要用系统科学的观点来看超弦理论，就抓住了要害。

刚才举的这三个例子都是自然科学方面的。我也可以跟同志们说，我们国家的建设问题，也要用系统学的观点来看。过几天就要开党的十三次代表大会了，赵紫阳代总书记将要在大会上做的报告，最核心的就是社会主义初级阶段的问题。怎样搞社会主义初级阶段的建设？假设从任何一个单位的局部来看这个问题，我认为都是行不通的。而且进一步想，中国并不是孤立的。中国是世界的中国，而世界现在的发展变化，可以说，每小时都不一样的，所以，我想起来，从前毛泽东同志诗词里有两句词，就是“四海翻腾云水怒，五洲震荡风雷激”。今天的世界就是这样，是动荡的、变化的。可以说每个小时都有变化，要研究我们中国在这么一个动荡变化的世界当中如何发展，这个问题要不用系统科学的观点，我想是一定搞不好的。所以我们讨论的这个问题，对于我国社会主义初级阶段的建设有很大关系。今年八月，在中央组织部和中央宣传部等机关合办的科学决策讲习班里，我讲过，所谓科学决策，就是用系统科学的办法。所以，为什么说系统科学重要？刚才讲了这段话，大家看能不能说明这个道理？[394]

什么叫软科学

下面我想讲一点我的理解，怎么系统科学变成软科学了？怎么系统变软了？

软在哪？硬又在哪？对这个问题现在有不少议论，例如安徽省系统工程学会出的《系统工程应用》1987 年 1 期就有一篇侯定丕同志的文章叫《软科学雏议》；但都没有讲清道理。我的理解是：要解决我刚才说的这些问题，特别是联系到社会科学的问题，国家建设的问题，领导决策的问题等等，恐怕就不完全是硬科学能够解决的。就是说死心眼的人，搞这些复杂的问题，是搞不好的。怎么叫活心眼而不死心眼呢？我从前讲过，什么决策呀，领导哇，这些问题，要不要科学？当然要。但是不是科学就够了？我说还不大行，还得有点艺术。所以，几年前有单位办讲习班，原来讲题叫“领导科学”，我说不行，恐怕得加上“领导艺术”。怎么叫艺术呢？艺术是不是唯心主义？是不是胡猜？不是。艺术的含意就是说你要解决这个问题，还要靠很多经验，不成文的经验，没有写到书本上的经验和感受这就叫艺术。我们有个词叫软科学，不是硬的，是软的。“软”是什么呢？就是包括经验，只能定性而不能定量的那一些知识，所以，如果要用系统科学，解决我们国家的经济社会问题，单用硬科学不行，还得有点软的，具体怎么办呢？于景元同志的第二次讲座会提到，就是定性跟定量的结合；就是说要重视科学，但是也要重视经验。这个方法的提出是一项创造，是于景元同志他们的研究所在老经济学家马宾同志指导下搞出来的。比方经济方面的问题，让懂系统科学、系统理论的同志去解决，仅仅这一方面的专家是解决不了的。因为他不了解复杂的经济社会现象，所以他首先要去请教对于这些复杂的经济社会现象有实践经验的专家，他有多年的经验，可以提出他的看法，专家们的看法也不一样：我参加过一次座谈会，听他们的意见。这些专家也很实事求是的，说完他的意见还补一句，说如果按我这个意见去办，也不保险准行。因为他是从经验提出来的，没有定量的分析，他没有定量的工具。当然这不是说专家的意见不重要。应该说他们的意见也是非常的宝贵的，但是不定量。怎么定量？那就得找大量的统计资料。所以解决经济社会问题，离不开统计部门，因为他掌握大量的统计数据，有了专家的定性意见，又有了统计部门的数据，这个时候搞系统科学、系统理论的人，为第三方面，就要设法把前两个方面给的信息捏在一起，形成一个模型；当然这个模型简单了也不行，因为统计数据是各式各样的，对于经济社会问题，一般要用的参数就是上百或者几百个才行，才能描述这个现象。好了，有了模型，就要动硬的了，上计算机算，因为人手没办法算几百个参数。计算机算出的结果，再请原来那两个方面的专家进行评论。这个时候，专家们往往又提出意见了，说，你这个模型大概有点什么毛病，因为你算出来[395]的结果有那点不合理，也就是与经验定性的感受相相合。以后，系统科学专家们考虑这些意见，修改原来的模型，再算，算的结果再请专家们评议，如果他们认为还有什么不合适的，再改，再算。算的

结果再请专家们来评议，一直做到他们都提不出什么意见了，他们的经验都包括进去了，数据也都用了，那就定案。这就是定量跟定性相结合，硬的和软的相结合，科学的理论跟经验的感受相结合。所以说软科学不是都软，也有点硬，硬的跟软的结合，定性和定量结合。我们系统讲座的第二讲：于景元同志会具体讲这个方面内容。

所以我们的工作确实联系到社会主义建设这么一个大问题，也就是刚才一开始讲的，中国要振兴，软科学，系统科学，软硬结合是非常重要的。今天是北京图书馆新开馆的纪念活动，我觉得意义是很大的。耽误大家一点时间，讲一讲我的感受，不对的地方，请大家批评。

本文是 1987 年 11 月 14 日在北京图书馆新馆开馆落成会上的发言。

[396]

编后记

湖南科学技术出版社 1988 年出版的《论系统工程》(增订本)至今已经 18 年了。如果从该出版社 1982 年出版《论系统工程》一书时算起，近四分之一个世纪过去了。在这些年中，系统工程的推广和应用已经渗透到整个社会的各个领域，“系统工程”一词也成为使用频率最高的科技词汇之一。在这样的背景下，《论系统工程》(增订本)不足 4000 册的发行量，面对着广大读者的需求而言，实在是太不够了。

现在，我们借“钱学森系统科学思想文库”编辑出版之际，将该书再版，称为《论系统工程》(新世纪版)，并把它作为“钱学森系统科学思想文库”第二卷。与第一卷不同，此卷的著者是一个以钱学森为主的群体，这是因为此卷中除有钱学森本人以及与他人合作写成的文章外，还按照钱学森本人的意愿收入了其他一些人的文章的缘故。《论系统工程》(增订本)编辑时，书中体例是按钱学森本人意见确定下来的。故这次再版此书，除对书中文字的个别差错做更正，并注明各篇的写作时间、出处外，其他的不做改动，以体现原书风貌。即目录页中的 A、B 部分。

在《论系统工程》(新世纪版)编辑过程中，文库编委会搜集到这一时期散落他处的 8 篇钱学森的文章。决定将这 8 篇文章收入。以便更全面地反映以钱学森为代表的系统科学界在这个时期的工作。它们是:《在上海机械学院系统工程研究所成立大会上的讲话》、《什么叫系统工程》、《略谈系统科学》、《系统思想、系统科学和系统论》、《在关肇直同志纪念会上的讲话》、《倡导自然科学与社会科学相结合》、《软科学是新兴的科学技术》、《软科学是定性与定量相结合的系统科学》。即目录页中的 C 部分。

相信《论系统工程》(新世纪版)的面世，会给广大老读者、新读者以新的启迪，增加对系统科学的了解与认识。